



TUGAS AKHIR – MO141326

**ANALISIS RESIKO PIPA BAWAH LAUT AKIBAT
TARIKAN JANGKAR DENGAN METODE *MONTE
CARLO* : STUDI KASUS JARINGAN PIPA BAWAH
LAUT TUNU *FIELD*, BLOK MAHAKAM,
KALIMANTAN TIMUR**

IKA PUSPITA NURAINI

NRP. 4311 100 014

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – MO141326

**SUBSEA PIPELINE RISK ANALYSIS DUE TO ANCHOR
DRAGGING BY USING MONTE CARLO METHOD : A CASE
STUDY OF TUNU FIELD'S SUBSEA PIPELINE, MAHAKAM
BLOCK, EAST KALIMANTAN**

IKA PUSPITA NURAINI

NRP. 4311 100 014

Supervisors

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul ANALISA RESIKO PIPA BAWAH LAUT AKIBAT TARIKAN JANGKAR DENGAN METODE *MONTE CARLO* : STUDI KASUS JARINGAN PIPA BAWAH LAUT TUNU *FIELD*, BLOK MAHAKAM, KALIMANTAN TIMUR ini dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini membahas mengenai resiko pada pipa bawah laut apabila terkena pengaruh tarikan jangkar kapal.

Penulis menyadari dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun sebagai bahan evaluasi bagi penulis dan laporan-laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 26 Januari 2016

Ika Puspita Nuraini

UCAPAN TERIMA KASIH

Pengerjaan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang diberikan dengan berbagai kebaikan-Nya. Dalam kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, adek-adek, dan keluarga tercinta yang telah membantu dan memotivasi penulis selama menempuh pendidikan di ITS dengan semua doa, kasih sayang, perhatian, kepercayaan, dan kesabaran.
2. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc., yang telah memberikan banyak sekali bimbingan dan ilmu selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA atas bimbingan dan ilmu-ilmu yang telah diberikan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Sandy, yang selalu memberi semangat penulis untuk mengerjakan Tugas Akhir dan yang selalu ada ketika dibutuhkan.
5. Dini, yang telah mendukung proses pengerjaan Tugas Akhir baik secara moral, ilmu bahkan materi.
6. Nuril, Ita, Bunga, Depi, Siska, yang selalu memberikan semangat meskipun telah terpisah jarak yang cukup jauh.
7. Keluarga besar THE TRIDENT L-29 yang selalu memberikan dukungan, terutama Isam, Urfan, Alwan dan Rio yang membantu pengerjaan.
8. Mas dan Mbak MEGALODON L-28, terutama Mas Lukman, Mbak Mimi, Mas Faishal, Mas Jendra yang selalu memperingatkan penulis untuk mengerjakan Tugas Akhir setiap harinya.
9. Penghuni Lab. OPRES dan Labkom yang saling mendukung satu sama lain untuk pengerjaan Tugas Akhir.
10. PT. Global Maritime dan PT. Onasis yang telah menyediakan data-data untuk bahan pengerjaan Tugas Akhir.

**ANALISA RESIKO PIPA BAWAH LAUT AKIBAT TARIKAN JANGKAR
DENGAN METODE *MONTÉ CARLO* : STUDI KASUS JARINGAN PIPA
BAWAH LAUT TUNU *FIELD*, BLOK MAHAKAM, KALIMANTAN
TIMUR**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

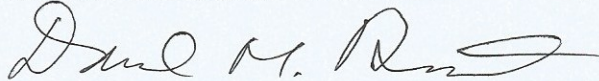
Oleh

Ika Puspita Nuraini

NRP. 4311 100 014


Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA (Pembimbing 1)



.....

2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)

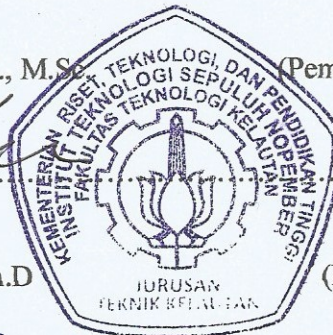


.....

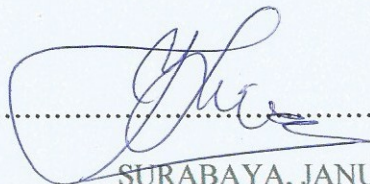
3. Yoyok Setyo H. ST., MT., Ph.D (Penguji 1)



.....



4. Nur Syahroni., S.T., M.T., Ph.D (Penguji 2)



.....

SURABAYA, JANUARI 2016

**ANALISIS RESIKO PIPA BAWAH LAUT AKIBAT TARIKAN
JANGKAR DENGAN METODE *MONTÉ CARLO* : STUDI
KASUS JARINGAN PIPA BAWAH LAUT TUNU *FIELD*,
BLOK MAHAKAM, KALIMANTAN TIMUR**

Nama Mahasiswa : Ika Puspita Nuraini
NRP : 43011100014
Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Jaringan pipa bawah laut yang terletak pada daerah dengan aktivitas produksi migas yang tinggi memiliki resiko untuk mengalami kerusakan eksternal. Seperti resiko untuk kejatuhan jangkar ataupun karena *anchor dragging*. Tugas Akhir ini menganalisa resiko kegagalan pipa bawah laut akibat tarikan jangkar . Lokasi produksi migas yang diambil untuk Tugas Akhir adalah di Tunu *field*, Blok Mahakam. Dalam menghitung konsekuensi kegagalan digunakan dengan pemodelan pada ANSYS dan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo*. Berdasarkan hasil perhitungan dengan variasi kecepatan kapal 7 knot, 8 knot, dan 9 knot, besar gaya tarikan jangkar dengan pengaruh kecepatan kapal saat menarik pipa adalah sebesar 1164.89 kN, 2121.863 kN dan 2323.7189 kN. Kemudian dilakukan pemodelan pipa di ANSYS, dengan memasukkan besar gaya tarikan jangkar masing-masing variasi, tekanan internal serta tekanan eksternal pipa. Pipa yang dimodelkan juga divariasikan panjangnya menjadi 20.32 m, 30.48 m, dan 40.64 m. Dari semua variasi didapatkan hasil bahwa pipa dengan panjang 20.32 m dan dengan pengaruh tarikan jangkar kapal yang mempunyai kecepatan 7 knot berada pada daerah *ALARP*. Sedangkan untuk variasi yang lainnya berada pada daerah *unacceptable risk*.

Kata Kunci : *Subsea Pipeline, Anchor Holding Force, Resistance, Monte Carlo, Risk Analysis.*

**SUBSEA PIPELINE RISK ANALYSIS DUE TO ANCHOR
DRAGGING BY USING MONTE CARLO METHOD : A CASE
STUDY OF TUNU FIELD'S SUBSEA PIPELINE, MAHAKAM
BLOCK, EAST KALIMANTAN**

Name : Ika Puspita Nuraini
NRP : 4311100014
Department : Ocean Engineering – FTK ITS
Supervisors : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Subsea pipelines that located in areas with a high activity of oil and gas production have high risk for damage. The damage that may occurred is external damage. Such risk due to anchor dropping or anchor dragging. This final project analyze the risk of failure subsea pipeline due to the anchor dragging. The location of oil and gas production are taken for final project is in the Tunu field, the Mahakam block. In calculating the consequences of failure are used by the ANSYS modeling and simulation using Monte Carlo methods. Based on the calculations by varying the speed of the vessel 7 knots, 8 knots and 9 knots, large anchor dragging force to influence the speed of the vessel when pulling the pipe is equal to 1164.89 kN, 2121.863 kN and 2323.718 kN. Then the forces entered as an input for ANSYS modeling. The input for ANSYS modeling include pipe internal pressure, external pressure and force from anchor dragging. For anchor dragging force is influenced by varying the speed of 7, 8 and 9 knots. Pipes are also varied in length be modeled 20.32 m, 30.48 m and 40.64 m. Of all the models and variations the pipe model at 20.32 m that have anchor holding force with speed of the vessel 7 knots is in the region of ALARP. As for the other variations in the region of unacceptable risk.

Keywords: Subsea Pipeline, Anchor Holding Force, Resistance, Monte Carlo, Risk Analysis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan	4
1.4. Manfaat	5
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. <i>Pipeline</i>	8
2.2.2. Tegangan	9
2.2.2.1. Komponen Tegangan Normal.....	9
2.2.2.2. Komponen Tegangan Geser	12
2.2.3. Jangkar (<i>Anchor</i>)	12
2.2.3.1. <i>Anchor Holding</i>	14
2.2.4. Teori Tahanan	16
2.2.5. Keandalan	19
2.2.6. Moda Kegagalan	20
2.2.7. <i>Monte Carlo Simulation</i>	21

2.2.8. Identifikasi Bahaya	22
2.2.9. <i>Risk Assesment</i>	24
2.2.9.1. Perhitungan Konsekuensi	25
2.2.9.2. Peluang Terjadinya Kegagalan	26
2.2.9.3. Matriks Resiko	26
2.2.10. ANSYS	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Metode Penelitian	29
3.2. Diagram Alir Perhitungan Frekuensi Kegagalan	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Pengumpulan Data	31
4.1.1 Data <i>Pipeline</i>	31
4.1.2 Data Kapal	32
4.1.3 Data Jangkar	32
4.1.4 Data Lingkungan	33
4.2. Perhitungan Konsekuensi	33
4.2.1. Menghitung Besar Tahanan Kapal	33
4.2.2. Menghitung Besar <i>Anchor Holding Force</i>	35
4.2.3. Menghitung Besar Gaya Tarikan Jangkar	36
4.2.4. Pemodelan Pada ANSYS	36
4.2.4.1. Pemodelan Pipa 20.32 Meter	43
4.2.4.2. Pemodelan Pipa 30.48 Meter	45
4.2.4.3. Pemodelan Pipa 40.64 Meter	46
4.3. Simulasi <i>Monte Carlo</i>	47
4.3.1. Variabel Acak Untuk Pipa dengan Panjang 20.32 Meter	48
4.3.2. Variabel Acak Untuk Pipa dengan Panjang 30.48 Meter	48
4.3.3. Variabel Acak Untuk Pipa dengan Panjang 40.64 Meter	49
4.4 Menghitung Besar Frekuensi Kejadian	49
4.5 Menentukan Tingkat Resiko	49
4.5.1. <i>Ranking</i> Konsekuensi Kegagalan.....	51
4.5.2. <i>Ranking</i> Frekuensi Kegagalan	51

4.5.3. Penyusunan Matriks Resiko.....	52
BAB V PENUTUP	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Identifikasi Bahaya pada Pipa Akibat Tarikan Jangkar	3
Tabel 2.1. <i>Rating of Drag-embedment Anchor Types</i>	15
Tabel 2.2. <i>Power Law Coefficients</i>	15
Tabel 2.3. <i>Possible External Hazards</i>	23
Tabel 2.4. <i>Ranking</i> Konsekuensi.....	25
Tabel 2.5. <i>Ranking</i> Frekuensi.....	26
Tabel 4.1. Data Umum Desain Pipa.....	31
Tabel 4.2. Data <i>Supply Vessel</i> UNDAK	34
Tabel 4.3. Data Lingkungan.....	35
Tabel 4.4. Hasil Tahanan Total dengan Variasi Kecepatan	36
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Besar Tarikan Jangkar	39
Tabel 4.6. Hasil <i>Equivalent Stress</i> Pipa dengan Panjang 20.32 m.....	43
Tabel 4.7. Hasil <i>Equivalent Stress</i> Pipa dengan Panjang 30.48 m.....	45
Tabel 4.8. Hasil <i>Equivalent Stress</i> Pipa dengan Panjang 40.64 m.....	46
Tabel 4.9. <i>Random Variabel</i> Untuk Pipa dengan Panjang 20.32 m.....	48
Tabel 4.10. <i>Random Variabel</i> Untuk Pipa dengan Panjang 30.48 m.....	48
Tabel 4.11. <i>Random Variabel</i> Untuk Pipa dengan Panjang 40.64 m.....	49
Tabel 4.12. <i>Ranking</i> Konsekuensi Pipa 20.32 m	51
Tabel 4.13. <i>Ranking</i> Konsekuensi Pipa 30.48 m	51
Tabel 4.14. <i>Ranking</i> Konsekuensi Pipa 40.64 m	51
Tabel 4.15. <i>Ranking</i> Frekuensi Kejadian	51

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Perhitungan Tahanan Kapal
LAMPIRAN B	Pemodelan Pada <i>Software</i> ANSYS dan Perhitungan Manual
LAMPIRAN C	Hasil Simulasi <i>Monte Carlo</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi Jaringan Pipa Bawah Laut di Tunu <i>Field</i>	2
Gambar 2.1 Sistem Pipa Bawah Laut.....	9
Gambar 2.2 Tegangan Longitudinal Tekan Pada Pipa.....	10
Gambar 2.3 Tegangan Tangensial Atau Tegangan Keliling.....	11
Gambar 2.4 Macam-macam Tipe Jangkar	13
Gambar 2.5 Jangkar Yang Menggigit Dasar Laut	14
Gambar 2.6 Kurva Koefisien Tahanan.....	17
Gambar 2.7 Komponen Tahanan Spesifik Kapal.....	17
Gambar 2.8 Diagram Simulasi <i>Monte Carlo</i>	22
Gambar 2.9 Matriks Resiko	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Analisa Frekuensi Kegagalan	31
Gambar 4.1 <i>Danforth Anchor</i>	35
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara R_{total} dengan V_s	37
Gambar 4.3 Gaya reaksi pada pipa	40
Gambar 4.4 Model pipa dengan panjang 20.32 m setelah <i>meshing</i>	41
Gambar 4.5 Model pipa dengan panjang 30.48 m setelah <i>meshing</i>	42
Gambar 4.6 Model pipa dengan panjang 40.64 m setelah <i>meshing</i>	42
Gambar 4.7 Gaya yang bekerja pada pipa	43
Gambar 4.8 Hasil Pemodelan Pipa 20.32 m Untuk $V_s = 7$ knot	44
Gambar 4.9 Hasil Pemodelan Pipa 20.32 m Untuk $V_s = 8$ knot	44
Gambar 4.10 Hasil Pemodelan Pipa 20.32 m Untuk $V_s = 9$ knot	44
Gambar 4.11 Hasil Pemodelan Pipa 30.48 m Untuk $V_s = 7$ knot	45
Gambar 4.12 Hasil Pemodelan Pipa 30.48 m Untuk $V_s = 8$ knot	45
Gambar 4.13 Hasil Pemodelan Pipa 30.48 m Untuk $V_s = 9$ knot	46
Gambar 4.14 Hasil Pemodelan Pipa 40.64 m Untuk $V_s = 7$ knot	46
Gambar 4.15 Hasil Pemodelan Pipa 40.64 m Untuk $V_s = 8$ knot	47
Gambar 4.16 Hasil Pemodelan Pipa 40.64 m Untuk $V_s = 9$ knot	47

Gambar 4.17 Alur kapal saat melintasi daerah pipa	49
Gambar 4.18 Matriks resiko untuk pipa dengan panjang 20.32 m	52
Gambar 4.19 Matriks resiko untuk pipa dengan panjang 30.48 m	53
Gambar 4.20 Matriks resiko untuk pipa dengan panjang 40.64 m	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang penting dan mendasar bagi kehidupan manusia. Diantara banyaknya sumber energi yang tersedia di alam ini, minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang banyak digunakan. Pada saat ini minyak dan gas masih menjadi kebutuhan bahan bakar yang utama bagi manusia. Minyak dan gas sangat penting untuk menggerakkan kehidupan dan roda perekonomian. Kegiatan eksplorasi untuk mencari sumber minyak baru terus dilakukan demi memenuhi kebutuhan manusia.

Pertumbuhan industri minyak dan gas lepas pantai yang pesat menjadikan jaringan pipa bawah laut sebagai alternatif sarana transportasi *fluida*. *Pipeline* digunakan dalam berbagai macam tujuan salah satu diantaranya adalah sebagai *trunk line* yakni mengangkut minyak dan/atau gas dari fasilitas produksi menuju daratan (Mousselli, 1981). Selain itu, kebutuhan industri migas untuk lebih efektif dan ekonomis mendorong semakin banyak penggunaan jaringan pipa sarana transportasi fluida.

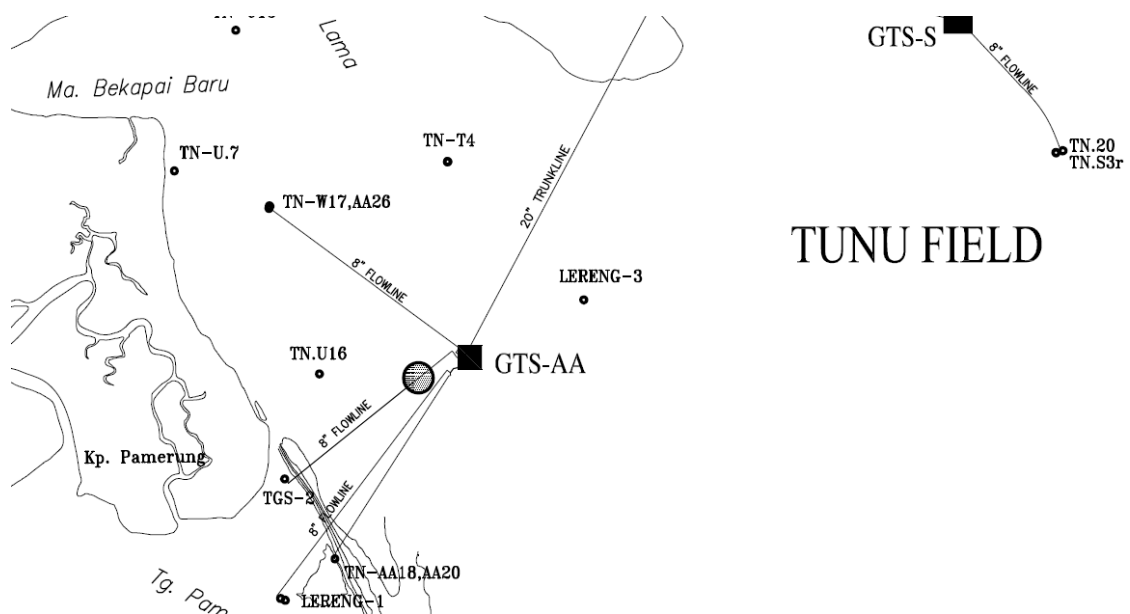
Saluran pipa bawah laut telah menjadi sarana transportasi pengiriman minyak dan gas bumi yang paling aman dan paling dipercaya sebagai bagian dari struktur lepas pantai dan berperan sebagai pendukung perkembangan teknologi kelautan. Namun dalam penggunaannya, pipa sangat rentan terhadap kerusakan sehingga dapat mengakibatkan resiko yang sangat besar. Kerusakan tersebut dapat berasal dari pengaruh internal maupun eksternal (Popang, 2011).

Penyebab kerusakan-kerusakan diatas dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain penurunan jangkar kapal (*anchor drop*), penarikan jangkar (*anchor drag*), kapal kandas (*grounding*), kapal tenggelam (*sinking*), jaring atau pukat (*trawl*), dan faktor lainnya (Prasetyo, 2013).

Salah satu penyebab terjadinya kerusakan eksternal adalah adanya aktifitas *supply vessel* ataupun *barge* yang memungkinkan untuk menjatuhkan jangkar di sekitar perairan yang banyak memiliki jaringan pipa bawah laut. Sebagai contoh

kasus, di perairan blok Mahakam banyak terdapat jaringan pipa milik *Total E & P Indonesia*. Popang (2011) telah melakukan analisis mengenai interaksi antara *pipeline* di delta sungai Mahakam dengan *trawl* milik nelayan yang menangkap ikan di perairan delta Mahakam. Jaringan pipa yang digunakan pada penelitian tersebut merupakan pipa milik *Total E & P Indonesia* yang berada di perairan delta Mahakam dan berfungsi untuk menghubungkan *Sisi field* dan *Nubi field*.

Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan analisa pipa bawah laut milik *Total E & P Indonesia* yang berada di daerah Blok Mahakam, lebih tepatnya pipa yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini berada di daerah produksi migas yaitu di *Tunu field* seperti yang terlihat pada **Gambar 1.1**. Pada daerah ini terjadi aktifitas produksi migas, seperti instalasi *wellhead platform* untuk pengeboran minyak dan gas di daerah tersebut. Dalam instalasi platform diperlukan *barge* untuk melakukan instalasi di *Tunu field*.



Gambar 1.1. Lokasi Jaringan Pipa Bawah Laut di *Tunu Field*
(*Total E & P Indonesia*, 2014)

Kemungkinan *barge* untuk melakukan *anchor dropping* pada daerah tersebut pasti terjadi. Saat *barge* menurunkan jangkar, terdapat kemungkinan

jangkar yang telah diturunkan menarik pipa penyalur gas yang terdapat di *Tunu field*. Untuk itu perlu dilakukan analisa kekuatan pipa dan penilaian resiko kegagalan pada pipa milik *Total E&P Indonesia*, khususnya pipa bawah laut yang kondisinya tidak dibenamkan (*unburied*).

Jaringan pipa ini berada pada daerah aktivitas produksi migas dan apabila terjadi kerusakan pada pipa akan menyebabkan dampak yang besar. Salah satu kerusakan yang dapat terjadi yaitu berupa pipa penyok atau pipa mengalami kebocoran. Adanya kebocoran pada pipa menyebabkan gas di dalam saluran pipa akan keluar sampai ke permukaan laut. Apabila pada permukaan laut terletak kebocoran pipa, maka manusia yang berada pada daerah produksi migas tersebut akan secara langsung terkena dampaknya. Hal tersebut dapat mengakibatkan terganggunya pernapasan atau bahkan dapat menyebabkan ledakan hebat apabila terdapat sumber api pada daerah tersebut.

Darma (2013) telah melakukan penilaian resiko terhadap pipa bawah laut akibat aktivitas kapal pada area *offshore pipeline*. Studi kasus yang diambil Darma (2013) adalah aktivitas kapal yang memungkinkan untuk melakukan *anchor dropping* maupun *anchor dragging*. Hasil identifikasi bahaya yang diperoleh Darma (2013) dari penelitiannya adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1 Identifikasi Bahaya pada Pipa Akibat Tarikan Jangkar (Darma, 2013)

HAZARD SCENARIO		CAUSES	CONSEQUENCES	ACTIONS/COMMENTS
1. JANGKAR JATUH DIATAS PIPA				
1.1	Pipa mengalami dent (penyok)	- Jangkar jatuh mengenai salah satu bagian pipa	- Pipa mengalami stress lokal yang mungkin akan berpengaruh terhadap integritas pipa - Berkurangnya diameter total pada pipa yang akan berpengaruh terhadap operasional pipa itu sendiri kedepannya	Jangkar kapal yang jatuh memiliki energi yang tidak terlalu besar, sehingga jangkar tidak sampai melubangi atau membuat pipa rusak.
1.2	Pipa berlubang dan mengalami kebocoran	- Jangkar jatuh mengenai pipa dan tertancap pada pipa tersebut.	- Material pengisi (oil/gas) akan tumpah ke laut dan mencemari lingkungan laut - Ledakan pada pipa karena tekanan tinggi yang melewati pipa akan dihantam oleh energi besar dari jatuhnya jangkar	Jangkar yang jatuh diatas pipa memberikan energi besar sehingga pipa mengalami lubang.
2. PIPA TERSERET OLEH JANGKAR				
2.1	Pipa mengalami deformasi dan bengkok	- Pipa terseret oleh jangkar dalam jarak tertentu	- Pipa bisa mengalami patah karena pipa bengkok keluar dari jalur	Kapal belum benar-benar berhenti sehingga jangkar kapal menggeret pipeline
2.2	Pipa mengalami free span	- Pipa terseret ke daerah seabed yang tidak rata	- Menurunnya level integritas pipeline - Pipeline deformasi & patah	

Dari hasil penelitian tersebut dapat digunakan acuan dalam memperkirakan bahaya apa saja yang dapat terjadi apabila pipa bawah laut mengalami tarikan jangkar seperti pada studi kasus dalam Tugas Akhir ini.

Melihat identifikasi bahaya yang dapat terjadi, oleh karena itu diperlukan analisa resiko kegagalan pipa penyalur minyak dan gas apabila mendapat tarikan jangkar. Pipa yang akan dianalisa mempunyai *outside* diameter sebesar 219,10 mm. Sedangkan untuk jangkar yang digunakan untuk analisa ini adalah milik PT. ONASIS Indonesia. Dalam analisa resiko pada tugas akhir ini akan menggunakan metode *Monte Carlo*.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Berapa besar peluang kegagalan pipa bawah laut akibat mendapat tarikan jangkar?
2. Bagaimana konsekuensi yang terjadi pada pipa akibat tarikan jangkar?
3. Berapa besarnya tingkat resiko kegagalan yang diterima oleh pipa penyalur minyak dan gas di daerah Tunu *field* akibat tarikan jangkar?

1.3. TUJUAN

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui besar peluang kegagalan pipa bawah laut mendapat tarikan jangkar.
2. Mengetahui bagaimana konsekuensi yang terjadi pada pipa akibat tarikan jangkar
3. Mengetahui tingkat resiko kegagalan yang diterima oleh pipa penyalur minyak dan gas di daerah Tunu *field* akibat tarikan jangkar.

1.4. MANFAAT

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian tugas akhir ini adalah untuk memberikan pertimbangan untuk membuat kebijakan keselamatan di daerah produksi minyak dan gas di Tunu *field*, Blok Mahakam.

1.5. BATASAN MASALAH

Untuk memudahkan penelitian tugas akhir ini, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Analisa dilakukan pada kondisi operasional struktur *offshore pipeline* yang terletak di Tunu Field, Blok Mahakam, Kalimantan Timur milik *Total E & P Indonesia*.
2. Pipa dalam kondisi tidak terkubur (*unburied*).
3. Pipa tidak dalam keadaan cacat ataupun bocor.
4. Untuk perhitungan gaya tarikan analisa dilakukan hanya pada kondisi operasi.
5. Analisa tegangan pada pipa menggunakan *software* ANSYS.
6. Jangkar dan kapal merupakan *barge* dan jangkar milik *Total E & P Indonesia* Indonesia yang akan digunakan untuk instalasi platform di Tunu *Field*.
7. Pipa diasumsikan meletak pada *seabed* dan permukaan *seabed* diasumsikan mempunyai sudut kemiringan 0° merata sepanjang jalur pipa.
8. Saat terseret jangkar, pipa diasumsikan tidak mengalami gesekan dengan *seabed*.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang tugas akhir yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh dan ruang lingkup penelitian guna membatasi analisis yang akan dilakukan dalam Tugas Akhir ini.

2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis berpedoman pada penelitian, jurnal serta buku-buku yang membahas tentang olah gerak bangunan apung, teori gelombang, eksitasi gelombang, respons struktur, dan bahan-bahan lain yang mendukung penelitian ini.

3. Metodologi Penelitian

Pada bab ini menjelaskan tentang metode pengerjaan dalam Tugas Akhir beserta prosedur yang digunakan.

4. Analisis dan Pembahasan

Pada bab ini membahas mengenai hasil pemodelan FPSO beserta sistem tambat dan simulasi untuk setiap kasus variasi displasemen dan posisi peletakan *submerged buoy*. Analisis tersebut bertujuan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan.

5. Penutup

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil dan pembahasan mengenai karakteristik gerak FPSO dan SPM CALM *buoy* pada saat terapung bebas dan tertambat serta efek dari variasi penambahan *submerged buoy* terhadap *tension* yang timbul serta memberikan saran-saran untuk penelitian ataupun Tugas Akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Istilah *pipeline* diartikan sebagai bentangan pipa fluida dengan jarak yang sangat panjang. Komoditas yang sering ditransportasikan adalah air, gas alam, minyak mentah, dan produksi hasil pengolahan minyak bumi lainnya (Liu, Henry 2003). *Pipeline* digunakan dalam berbagai macam tujuan salah satu diantaranya adalah sebagai *trunk line* yakni mengangkut minyak dan/atau gas dari fasilitas produksi menuju daratan (Mousselli, 1981).

Penggunaan jaringan pipa bawah laut sangat rentan terhadap kerusakan sehingga dapat mengakibatkan resiko yang sangat besar. Kerusakan tersebut dapat berasal dari pengaruh internal maupun eksternal. Salah satu penyebab terjadinya kerusakan eksternal adalah adanya aktifitas *supply vessel* ataupun *barge* yang memungkinkan untuk menjatuhkan jangkar di sekitar perairan yang banyak memiliki jaringan pipa bawah laut.

Sebagai contoh kasus, di perairan blok Mahakam banyak terdapat jaringan pipa milik *Total E & P Indonesie*. Untuk itu perlu dilakukan analisa kekuatan pipa dan penilaian resiko kegagalan pada pipa milik *Total E&P Indonesie*, khususnya pipa bawah laut yang kondisinya tidak dibenamkan (*unburied*) apabila mendapat tarikan jangkar sebuah jangkar *barge* yang digunakan untuk instalasi *platform*.

Suatu penelitian tentang analisa resiko pada *pipeline* telah dilakukan oleh Popang (2011) dengan studi kasus jaringan pipa yang terletak di Sisi-Nubi *field*, Blok Mahakam. Analisa resiko yang dilakukan Popang (2011) merupakan analisis mengenai interaksi antara *pipeline* di delta sungai Mahakam dengan *trawl* milik nelayan yang menangkap ikan di perairan delta Mahakam.

Prasetyo (2013) telah melakukan analisa kekuatan pipa bawah laut akibat tarikan jangkar. Analisa tersebut mengambil studi kasus di daerah Ujung Pangkah. Dalam analisisnya, Prasetyo (2013) hanya menganalisa kekuatan pipa bawah laut akibat tarikan jangkar tanpa menganalisa tingkat resiko kegagalannya. Sedangkan Negara (2009) juga telah melakukan analisa dengan studi kasus yang sama.

Namun, dalam penelitiannya, Negara (2009) melakukan perhitungan tingkat resiko pada pipa bawah akibat tarikan jangkar dengan memvariasikan tebal pipa. Metode yang digunakan untuk perhitungan tingkat kejadian resiko dalam penelitiannya adalah ETA (*Event Tree Analysis*).

Dalam tugas akhir ini akan menganalisis permasalahan yang hampir sama dengan ketiga penelitian sebelumnya, yaitu interaksi antara *pipeline* dengan tarikan jangkar *barge*. Namun terdapat perbedaan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu metode yang digunakan dalam perhitungan resiko menggunakan metode *Monte Carlo*. Selain itu, studi kasus dalam tugas akhir ini juga berbeda. Pipa yang akan dianalisa merupakan *pipeline* milik *Total E&P Indonesia*, pipa mempunyai *outside* diameter sebesar 219,10 mm yang beroperasi di daerah produksi migas *Tunu field*, Blok Mahakam, Kalimantan Timur.

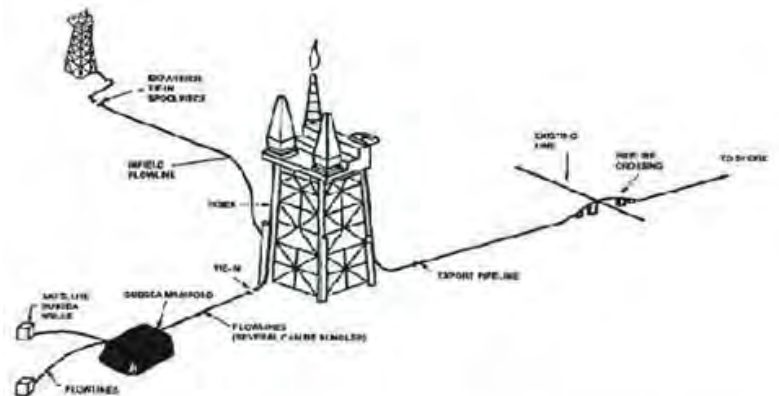
2.2. DASAR TEORI

2.2.1 Pipeline

Pada permulaan tahun 1897, pencarian minyak mulai menuju ke daerah *offshore* karena kebutuhan semakin meningkat. Eksplorasi dan produksi minyak dimulai dari Summerland, California. *Offshore pipeline* yang pertama kemudian dibangun. Sejak saat itu, *offshore pipeline* menjadi transportasi yang efektif untuk fluida seperti minyak dan gas (Popang, 2011). *Infield flowlines* yang mengalirkan minyak atau gas diantara *production facility platforms*.

Pipeline digunakan untuk berbagai maksud dalam pengembangan sumber daya hidrokarbon di lepas pantai (Soegiono, 2006), antara lain :

1. Pipa transportasi untuk ekspor.
2. Pipa penyalur untuk mengangkut produksi dari suatu *platforms* ke pipa ekspor.
3. Pipa pengalir untuk injeksi air atau injeksi bahan kimia.
4. Pipa pengalir untuk mengangkut produksi antar *platform*, *subsea manifold*, dan *satellite wells*.
5. *Pipeline bundles*.



Gambar 2.1 Sistem Pipa Bawah Laut (Soegiono, 2006)

2.2.2 Tegangan

Berdasarkan code ASME B31.8, tegangan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu: Tegangan Normal (*Normal Stress*) dan Tegangan Geser (*Shear Stress*).

2.2.2.1 Komponen Tegangan Normal

1. Tegangan Longitudinal (*Longitudinal Stress*).

Tegangan longitudinal adalah tegangan yang bekerja searah sumbu pipa. Tegangan longitudinal terdiri dari tegangan aksial (*axial stress*), tegangan tekuk (*bending stress*) dan tegangan longitudinal tekan (*pressure stress*). Berikut uraian macam-macam tegangan longitudinal antara lain :

Tegangan aksial (σ_{ax}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya aksial (F_{ax}) yang bekerja searah dengan sumbu pipa (Beer. et al, 2006).

$$\sigma_{ax} = \frac{F_{ax}}{A} \quad (2.1)$$

$$A = \left(\frac{\pi(do^2 - di^2)}{4} \right) \quad (2.2)$$

Keterangan :

A = luas penampang pipa, mm²

do = diameter luar pipa, mm

di = diameter dalam pipa, mm

F_{ax} = gaya aksial sepanjang pipa , N/mm²

σ_{ax} = tegangan aksial, psi

Tegangan tekuk (σ_b) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen (M) yang bekerja diujung-ujung pipa (Beer. et al, 2006).

$$\sigma_b = \frac{M \times c}{I} \quad (2.3)$$

$$I = \left(\frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64} \right) \quad (2.4)$$

Keterangan :

c = jarak dinding pipa ke sumbu netral , mm

d_i = diameter dalam pada pipa, mm

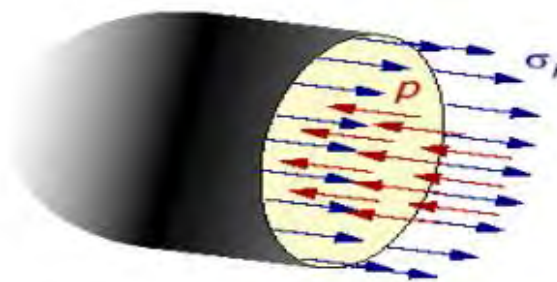
d_o = diameter luar pada pipa, mm

I = momen inersia penampang, kg/m^2

M = moment pada ujung-ujung pipa, lb/in

σ_b = tegangan tekuk, psi

Tegangan longitudinal tekan (σ_{lp}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan internal (p) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa.



Gambar 2.2 Tegangan longitudinal tekan pada pipa (Puja, 2011)

Rumus tegangan longitudinal tekan berdasarkan (ASME B31.8) adalah sebagai berikut :

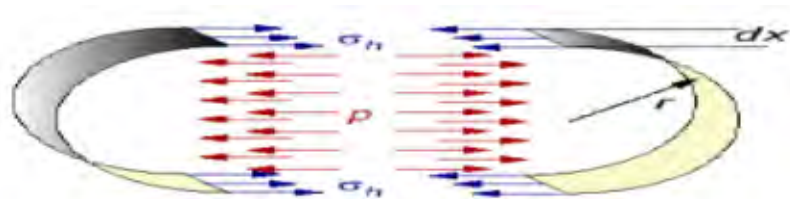
$$\sigma_{lp} = \frac{P A_i}{A_m} = \frac{P d_i^2}{(d_o^2 - d_i^2)} = \frac{P d_i^2}{4 t d_m} = \frac{P d_o}{4 t} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- A_i = luas permukaan dalam pipa, mm
 A_m = luas rata-rata permukaan pipa, mm²
 d_o = diameter luar pipa, mm
 P = tekanan pada pipa, mm
 T = tebal pipa, mm
 σ_{Lp} = tegangan longitudinal tekan, psi

2. Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*)

Tegangan tangensial (σ_{Sh}) ditimbulkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal dinding pipa.



Gambar 2.3 Tegangan tangensial atau tegangan keliling (Puja, 2011)

Rumus tegangan tangensial (*hoop stress*) berdasarkan (ASME B31.8) adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{Sh} = \frac{Pd_1L}{2tL} = \frac{Pd_1}{2t} = \frac{Pd_o}{2t} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- d_o = diameter luar pipa, mm
 P = tekanan pada pipa, psi
 t = tebal pipa, mm
 σ_{Sh} = tegangan tangensial (*hoop stress*), psi

2.2.2.2 Komponen Tegangan Geser

1. Tegangan Puntir atau Tegangan Torsi (*Torsional Stress*)

Tegangan puntir adalah tegangan yang terjadi pada suatu bentangan bahan dengan luas permukaan tetap yang dikenai suatu puntiran

(*twisting*) pada setiap ujungnya dan bentangan benda tersebut dikatakan sebagai poros (*shaft*). Untuk suatu poros dengan panjang L dan jari-jari r dikenai torsi T dengan moment inersia polar J pada luas permukaan, tegangan geser torsional pada suatu jarak c dari sumbu poros luas permukaan adalah : (Beer. et al, 2006).

$$\sigma_t = \frac{T c}{J} \quad (2.7)$$

Keterangan :

σ_t = tegangan geser torsional, psia

J = moment inersia polar, kg/m^2

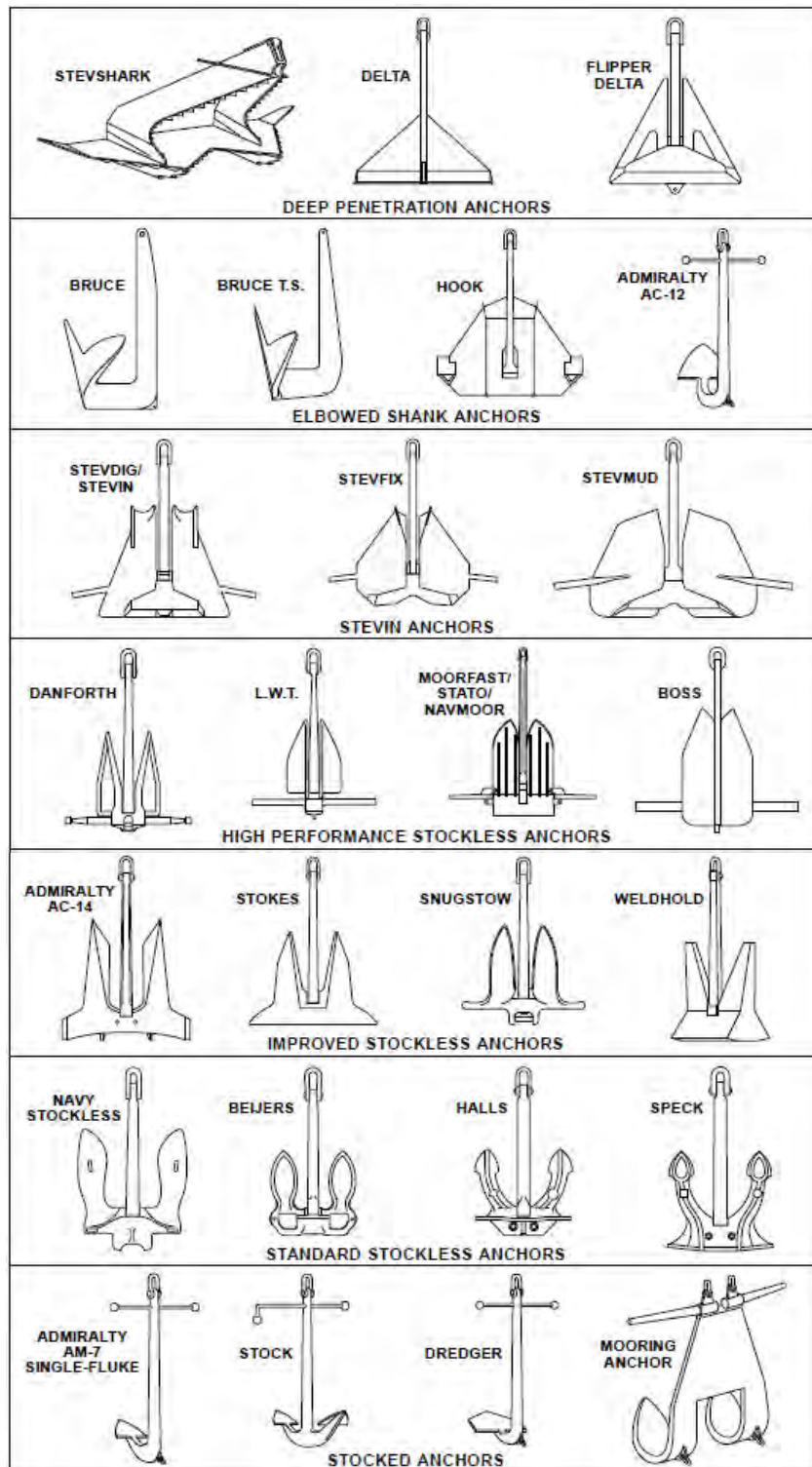
c = jarak dari sumbu poros, m

T = torsi, lb/in

2.2.3 Jangkar (*Anchor*)

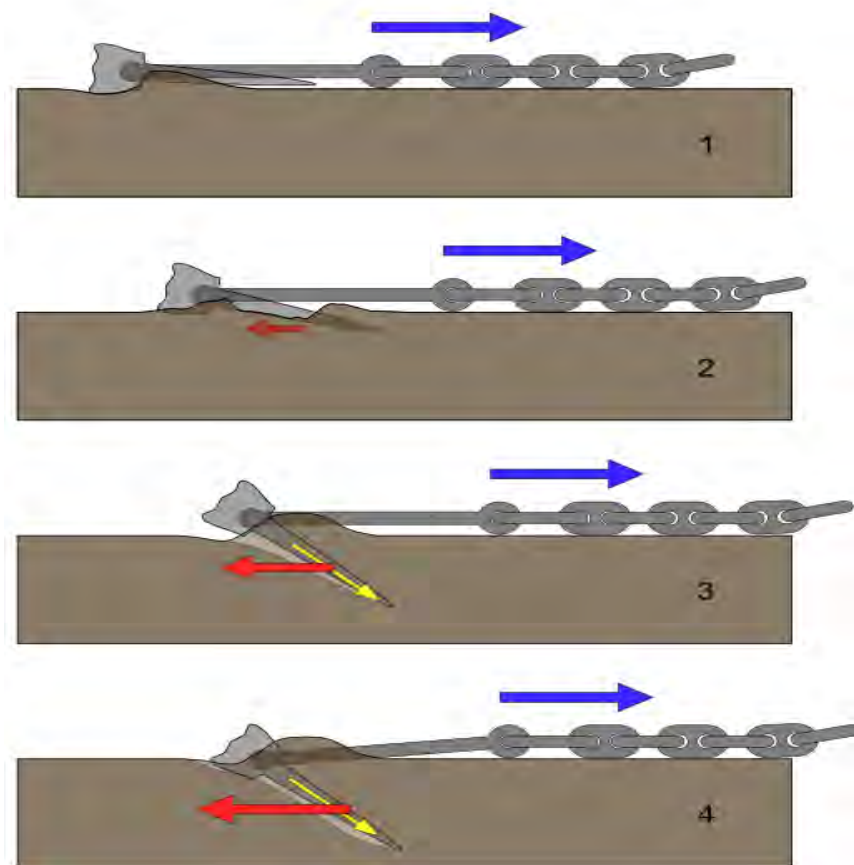
Sebuah kapal ketika akan berlabuh pasti akan membutuhkan komponen untuk membatasi ruang gerakanya sehingga tidak berpindah tempat karena hembusan angin, gelombang ataupun arus. Jangkar merupakan salah satu dari komponen kapal yang mampu untuk membatasi ruang gerak kapal pada saat akan berlabuh, sehingga kapal tetap dalam keadaannya meskipun mendapatkan pengaruh angin, gelombang ataupun arus.

Perlengkapan jangkar kapal terdiri dari jangkar, rantai jangkar, *stopper*, dan *handling* jangkar. Jangkar didesain sedemikian rupa sehingga dapat tersangkut di dasar perairan. Jangkar biasanya dibuat dari bahan besi cor. Untuk jangkar itu sendiri mempunyai beberapa jenis seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Macam-macam tipe jangkar (wetlands.simplyaquatics.com)

Untuk cara kinerja jangkar yang telah diturunkan ke dasar laut menggigit bagian dasar laut seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**. Penting sekali bahwa jangkar beserta rantainya cukup berat untuk bisa tertancap di dasar laut dan tidak akan terlepas dari dasar laut kecuali ditarik ke atas kapal.



Gambar 2.5 Jangkar yang menggigit dasar laut (www.wikipedia.com)

2.2.3.1 *Anchor Holding*

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diperlukan untuk mengetahui besarnya *anchor holding force* yang mengenai pipa. *Anchor holding force* merupakan besarnya kekuatan jangkar menggigit bagian dasar laut saat menahan gerakan kapal. Besarnya *anchor holding force* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis jangkar, berat jangkar, dan jenis tanah. Pada **Tabel 2.1** ditunjukkan besarnya *anchor holding capacity* dari hubungan antara macam-macam jenis jangkar dengan jenis tanah.

Tabel 2.1 Rating of Drag-embedment Anchor Types (NCEL Handbook for Marine Geotechnical Engineering, 1985)

Anchor Type	Reliability					
	Cohesive Soils (clays and plastic silts)			Cohesionless Soils (sands) ^a		
	Tripping/Dig-in	Stability	Holding Capacity	Tripping/Dig-in	Stability	Holding Capacity
Stockless ^b (movable fluke)	Low	Medium	Low	High	Medium	Low
Stockless ^b (fixed fluke)	High	Medium	Low	High	High	Low
G.S. (AC 14)	— ^c	— ^c	Medium	High	Medium	Medium
Danforth	Medium	Low	Medium	High	Medium	Medium
Lightweight (LWT)	Low	Low	Low	High	Medium	Medium
STATO/NAVMOOR ^d	High	Medium	High	High	High	High
Moorfast	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Offdrill II	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Flipper Delta	— ^c	— ^c	Medium	— ^c	— ^c	Medium
STEVIN	— ^c	— ^c	Medium	— ^c	— ^c	Medium
STEVFIX	Low	Low	High	High	Medium	High
STEVPRIS	— ^c	— ^c	— ^c	High	High	High
STEVDIG	— ^c	— ^c	— ^c	High	Medium	High
STEVMUD	High	— ^c	High	— ^e	— ^e	— ^e
BOSS	High	Medium	High	High	— ^c	High
Hook	High	High	Medium	Medium	High	Medium
BRUCE Cast	High	High	Low	High	High	High
Bruce Twin-shank	High	High	High	— ^c	High	High

^a Fluke angle set at manufacturer's recommendation for sand
^b With stabilizers (ratings not as high without stabilizers)
^c Insufficient data available for rating
^d Fluke angle set at 30 degrees for sand
^e Anchor not normally used in this seafloor

From NCEL Handbook for Marine Geotechnical Engineering, 1985

Tabel 2.2 Power Law Coefficients (NCEL Handbook for Marine Geotechnical Engineering, 1985)

Anchor type ^a	Soft soils, soft clays and silts		Hard soils, sands and stiff clays	
	H_R (lbs × 1,000)	b	H_R (lbs × 1,000)	b
BOSS	210	0.94	270	0.94
BRUCE Cast	32	0.92	250	0.80
BRUCE Twin Shank (TS)	189	0.92	210	0.94
BRUCE Flat-fluke Twin Shank (FFTS)	250	0.92	— ^b	— ^b
Danforth	87	0.92	126	0.80
Flipper Delta	139	0.92	— ^b	— ^b
G.S. (AC-14)	87	0.92	126	0.80
Hook	189	0.92	100	0.80
Lightweight (LWT)	87	0.92	126	0.80
Moorfast	87	0.92	60	0.80
NAVMOOR	210	0.94	100 ^c	0.80
Offdrill II	87	0.92	270	0.94
STATO	210	0.94	60	0.80
STEVDIG	139	0.92	100 ^c	0.80
STEVFIX	189	0.92	250 ^d	0.94
STEVIN	139	0.92	190 ^d	0.94
STEVMUD	250	0.92	290	0.80
STEVPRIS (straight shank)	189	0.92	290	0.80
Stockless (fixed fluke)	46	0.92	165	0.80
Stockless (movable fluke)	24	0.92	— ^e	— ^e
			70	0.80
			44 ^f	0.80
			70	0.80
			44 ^f	0.80

The Power Law Method merupakan metode terbaik dalam menghitung *anchor holding capacity*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_m = H_r \left(\frac{W_a}{10.000} \right)^b \quad (2.8)$$

Keterangan :

H_m = *Anchor holding capacity*, lbs

H_r = *Holding capacity of a 10,000-pound (dry weight) version of the reference anchor*, dilihat dari **Tabel 2.2**

W_a = Berat jangkar di udara, lbs

b = *Exponent depending on the anchor and soil type*, dilihat dari **Tabel 2.2**

2.2.4 Teori Tahanan

Tahanan kapal pada suatu kecepatan (S.A. Harvald, 1983) adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa hingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Pada **Gambar 2.6** diperlihatkan beberapa kurva tahanan untuk benda apung yang bergerak di permukaan atau jauh terbenam di dalam fluida ideal dan fluida dengan viskositas. Koordinat mendatar pada **Gambar 2.6** adalah angka Froude yang dirumuskan sebagai berikut :

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (2.9)$$

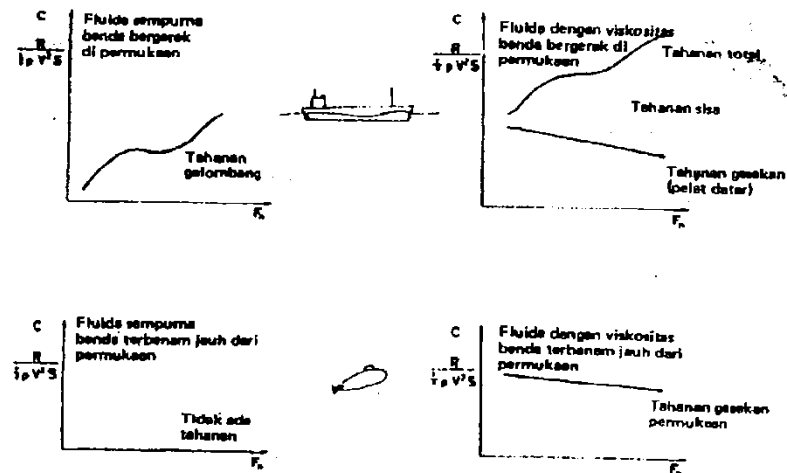
Keterangan:

F_n = *Froude Number*

V = Kecepatan kapal, m/s²

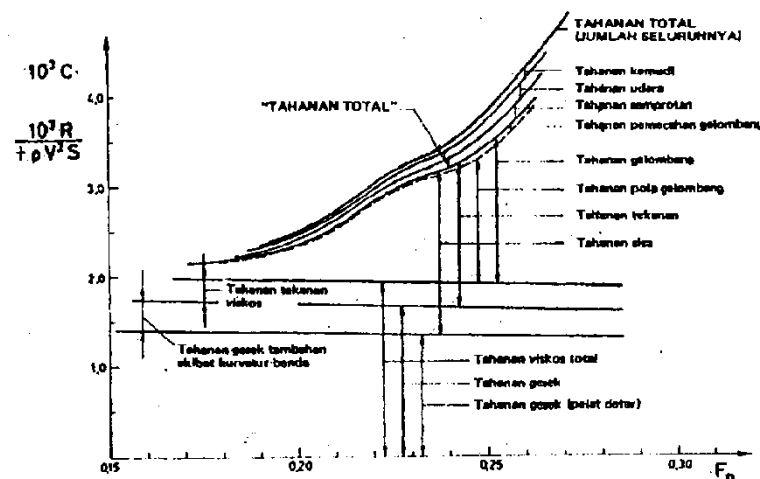
g = Gaya grafitasi, m/s²

L = Panjang kapal, m



Gambar 2.6 Kurva koefisien tahanan (S.A. Harvald, 1983)

Tahanan total (R_t) dapat diuraikan menjadi sejumlah komponen berbeda yang diakibatkan oleh berbagai macam penyebab dan saling berinteraksi secara kompleks. Tahanan spesifik kapal sebagai fungsi angka Froude (F_n) ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Komponen tahanan spesifik kapal (S.A. Harvald, 1983)

Dengan mengacu pada ITTC, komponen-komponen tahanan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahanan gesek, R_f : adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan mengintegalkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.
2. Tahanan sisa, R_r : adalah besaran yang merupakan hasil pengurangan dari tahanan total kapal terhadap tahanan gesek dengan rumus tertentu. Secara umum tahanan sisa yang paling dominan adalah tahanan akibat gelombang.
3. Tahanan viskos, R_v : adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskositas fluida.
4. Tahanan tekanan, R_p : adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan mengintegalkan tegangan normal ke seluruh permukaan benda menurut arah gerakan benda.
5. Tahanan tekanan viskos, R_{pv} : adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan cara mengintegalkan komponen tegangan normal akibat viskositas dan turbulensi. Besaran ini tidak bisa diukur, kecuali untuk benda yang terbenam seluruhnya, dalam hal ini sama dengan tahanan tekanan.
6. Tahanan akibat gelombang, R_w : adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan gelombang gravitasi.
7. Tahanan pola gelombang, R_{wp} : adalah komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari kapal atau model. Dalam hal ini medan kecepatan bawah permukaan (*subsurface velocity field*) yang berarti momentum fluida dianggap dapat dikaitkan dengan pola gelombang dengan memakai teori linier. Tahanan ini tidak termasuk tahanan gelombang pecah.
8. Tahanan gelombang pecah, R_{wb} : adalah komponen tahanan yang terkait dengan pecahnya gelombang di buritan kapal.
9. Tahanan semprotan, R_s : adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan semprotan.

10. Tahanan anggota badan (*Appendage Resistance*), R_{AP} : adalah tahanan akibat adanya bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan lain-lainnya.
11. Tahanan udara, R_{AA} : adalah tahanan yang dialami oleh bagian dari badan kapal utama yang berada di atas permukaan laut.
12. Tahanan kemudi, R_{AS} : adalah tahanan yang diakibatkan gerakan daun kemudi untuk mempertahankan kelurusan lintasan kapal.

2.2.5 Keandalan

Reliability atau keandalan didefinisikan sebagai probabilitas suatu item (sistem) memiliki performansi sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam interval waktu dan operasi tertentu. Berdasarkan definisi di atas dapat ditarik pokok pikiran bahwa variabel penting yang dikaitkan dengan keandalan adalah waktu. Dalam hal ini waktu yang berkaitan dengan laju kerusakan (*failure rate*). Karena waktu kerusakan merupakan kejadian yang bersifat random, maka fenomena kerusakan dapat digambarkan dalam bentuk probabilitas kerusakan yang mengikuti distribusi tertentu. Salah satu metode untuk mencari keandalan suatu sistem adalah dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo*.

Ketika suatu sistem yang sedang dipelajari mengandung variabel atau parameter yang memiliki nilai random, atau mengandung perubahan acak, maka metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk memecahkan persoalan ini, suatu set nilai dari tiap-tiap variabel (satu nilai untuk setiap variabel) dari suatu sistem disimulasikan berdasarkan distribusi peluangnya, misalnya berdasarkan fungsi kerapatan peluang tiap-tiap variabel tersebut. Untuk setiap set ini, respon atau kinerja sistem dihitung berdasarkan fungsi kinerja dari sistem tersebut. Perhitungan respon atau kinerja sistem dihitung berdasarkan fungsi deterministik untuk suatu set nilai dari respon atau kinerja sistem tersebut, sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respon atau kinerja sistem. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sampel data, dengan analisa statistik dapat dilakukan untuk menentukan nilai rata-rata, simpangan baku, bahkan distribusi dari respon atau kinerja sistem tersebut.

Adapun hubungan antara keandalan, peluang terjadinya kegagalan, resiko, dan konsekuensi kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Reliability = 1 - probability\ of\ failure \quad (2.10)$$

$$Risk = probability\ of\ failure \times consequence\ of\ failure \quad (2.11)$$

Dalam Tugas Akhir ini, dengan menghitung keandalan pipa bawah laut akibat tarikan jangkar akan diketahui seberapa besar keandalan pipa apabila terkena tarikan jangkar. Sehingga hal ini dapat membantu untuk sebagai acuan dalam mendesain pipa bawah laut yang apabila terkena tarikan jangkar akan memiliki kemungkinan terkecil pipa itu akan rusak.

2.2.6 Moda Kegagalan

Langkah pertama sebelum menentukan Moda Kegagalan adalah terlebih dahulu menentukan kegagalan yang akan dialami oleh suatu struktur (Rosyid, 2008). Moda kegagalan terdiri dari dua parameter penting, yaitu kekuatan dan beban.

Persamaan umum dari moda kegagalan seperti di bawah ini :

$$MK = K - B \quad (2.12)$$

Keterangan :

K = Variabel kekuatan

B = Variabel beban

Dalam Tugas Akhir ini moda kegagalan yang akan digunakan adalah kegagalan akibat adanya tegangan dinamis pada pipa akibat adanya tarikan jangkar. Moda kegagalan yang digunakan dalam tugas akhir ini berdasarkan DNV OS F101 *Submarine Pipeline System* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_e < 0.9\ SMYS \quad (2.13)$$

Keterangan:

σ_e = equivalent stress, MPa

Untuk mencari *equivalent stress* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - \sigma_h \sigma_l} \quad (2.14)$$

Keterangan:

σ_l = tegangan longitudinal (*longitudinal stress*), MPa

σ_h = *hoop stress*, MPa

Untuk mencari *hoop stress* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_h = (P_i) \frac{D}{2t} \quad (2.15)$$

Keterangan:

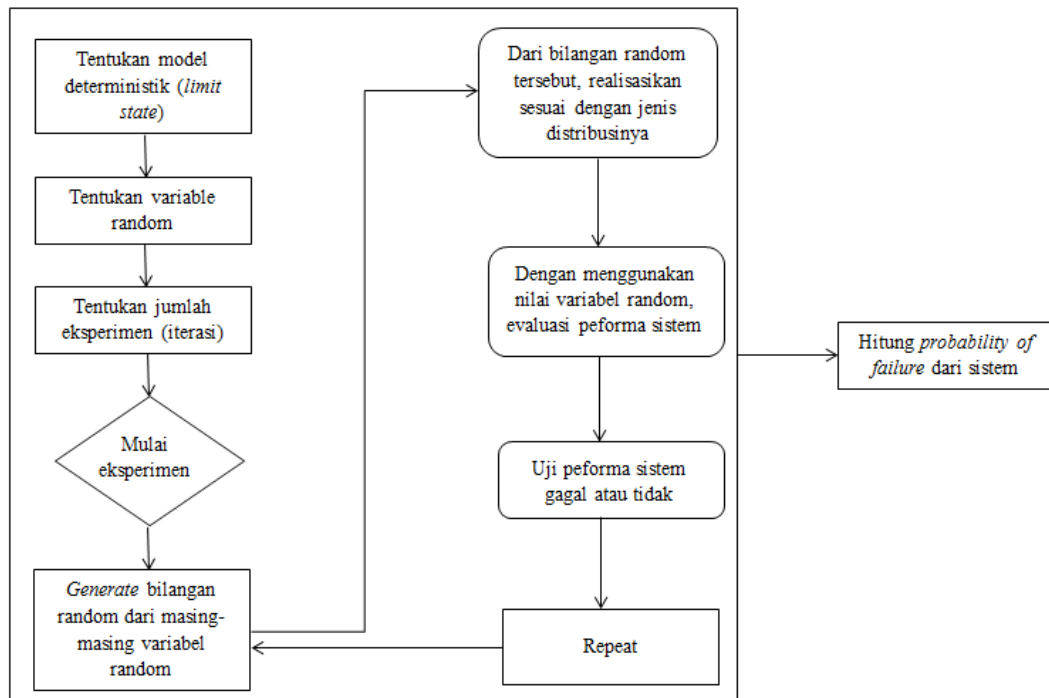
σ_h = *hoop stress* akibat *internal pressure*, MPa

P_i = *internal pressure* pipa, MPa

t = *pipe wall thickness*, in

2.2.7 Monte Carlo Simulation

Monte Carlo Simulation adalah salah satu metode *risk assesment* kuantitatif yang dapat digunakan oleh berbagai organisasi dalam proses manajemen resiko mereka, terutama dalam tahapan analisis resiko atau evaluasi resiko yang memiliki fenomena variabel acak (*random variable*). Metode ini disebut pula dengan *Monte Carlo sampling*, yaitu suatu metode statistik iterasi berulang. Unsur pokok yang diperlukan di dalam simulasi *Monte Carlo* adalah sebuah *random number generator* (RNG). Hal ini karena secara teknis, prinsip dasar metode simulasi *Monte Carlo* sebelumnya adalah sampling sistem dengan bantuan RNG, dimana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dan perubah acak yang terlibat di dalam sistem yang sedang dipelajari dapat diasumsikan atau telah diketahui. Pada **Gambar 2.6** menjelaskan tentang alur dari proses kerja system montecarlo yang dapat dipahami dengan lebih mudah.



Gambar 2.8 Diagram simulasi *Monte Carlo* (Hangga, 2010)

Dengan menggunakan Metode ini dapat memberikan prediksi *probability of failure* yang cukup akurat sesuai dengan *limit state function* yang telah ditentukan sebelumnya, oleh karena banyaknya trial yang dapat dilakukan sampai tak hingga kali iterasi. Semakin banyak iterasi yang dilakukan, error yang terjadi akan semakin kecil, akan tetapi waktu yang diperlukan untuk proses simulasi akan menjadi semakin lama.

2.2.8 Identifikasi Bahaya

Pipa bawah laut atau yang biasa disebut *offshore pipeline* memiliki potensi kerusakan yang bisa jauh lebih besar daripada jalur pipa yang ada di darat, khususnya untuk lingkungan yang beradadi bawah laut. Dengan tren yang sedang berkembang belakangan ini mengenai *Health, Safety and Environment*, menjadikan sebuah alasan mengapa perlunya perhatian lebih bagi jalur pipa yang berada di laut yang secara kasat mata akan sangat susah untuk dipantau keberadaannya. Oleh karena itu, perlunya melakukan tindakan semacam *marine survey* dan *hazard identification* pada lingkngan laut secara berkala.

Pengklasifikasian kategori bahaya yang mungkin terjadi pada pipa bawah laut, baik itu disebabkan karena kondisi alami di sekitar lingkungan maupun yang terjadi akibat dari aktivitas manusia, digolongkan menjadi tiga kategori yaitu: (Mouselli, 1981)

1. *Hazard* yang terjadi selama periode konstruksi
2. *Hazard* yang terjadi setelah jalur pipa terpasang di dasar laut
3. *Hazard* yang terjadi baik itu dari proses instalasi maupun dari proses operasi.

Ada banyak hal yang menjadi pertimbangan dalam melakukan klasifikasi pengidentifikasian bahaya pada *pipeline*. Seperti yang telah dijelaskan diatas, ketiga kategori bahaya yang terjadi pada *offshore pipeline* menjadi salah satu dasar dalam melakukan *Hazard Identification*. Standard DNV RP-F107 sendiri telah memberikan beberapa contoh *hazard* yang mungkin dapat membahayakan jalur pipa bawah laut tersebut. Hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.3** dibawah ini :

Tabel 2.3 *Possible External Hazards* (DNV RP-F107)

No	Operation/activity	Hazard	Possible consequence to pipeline
1.	Installation of pipeline	Dropped and dragged anchor/anchor chain from pipe lay vessel	Impact damage
		Vessel collision during laying leading to dropped object, etc.	
		Loss of tension, drop of pipe end, etc.	Damage to pipe/umbilical being laid or other pipes/umbilical already installed
		Damage during trenching, gravel dumping, installation of protection cover, etc	Impact damage
		Damage during crossing construction	
2.	Installation of risers, modules, etc. (i.e. heavy lifts)	Dropped objects	Impact damage
		Dragged anchor chain	Pull-over and abrasion damage
3.	Anchor handling (Rig and lay vessel operations)	Dropped anchor, breakage of anchor chain, etc.	Impact damage
		Dragged anchor	Hooking (and impact) damage

Tabel 2.3 *Possible External Hazards* (DNV RP-F107) (lanjutan)

No	Operation/activity	Hazard	Possible consequence to pipeline
		Dragged anchor chain	Pull-over and abrasion damage
4.	Lifting activities	Drop of objects into the sea	Impact damage
5.	Subsea operations	ROV impact	Impact damage
		Maneuvering failure during equipment installation/removal	Impact damage
			Pull-over and abrasion damage
6.	Trawling activities	Trawl board impact, pull over or hooking	Impact damage and pull-over damage
7.	Tanker, supply vessel and commercial ship traffic	Collision (either powered or drifting)	Impact damage
		Emergency anchoring	Impact and/or hooking damage
		Sunken ship (e.g. after collision with platform or other ships)	Impact damage

2.2.9 Risk Assessment

The Standards Australia/New Zealand (AS/NZS 4360:2004) memaparkan bahwa resiko adalah suatu kemungkinan dari suatu kejadian yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi suatu aktivitas atau obyek. Resiko tersebut akan diukur dalam terminology *consequences* (konsekuensi) dan *likelihood* (kemungkinan/probabilitas). Dijelaskan juga bahwa resiko adalah pemaparan tentang kemungkinan dari suatu hal seperti kerugian atau keuntungan dari suatu hal seperti kerugian atau keuntungan secara finansial, kerusakan fisik, kecelakaan atau keterlambatan, sebagai konsekuensi dari suatu aktivitas.

Resiko merupakan kombinasi dan *likelihood* dan *consequence*. *Likelihood* merupakan kemungkinan dalam suatu periode waktu dan suatu resiko tersebut akan muncul. Biasanya digunakan data historis untuk mengestimasi kemungkinan tersebut. Perhitungan kemungkinan atau peluang yang sering digunakan adalah frekuensi. *Consequence* adalah suatu akibat dari suatu kejadian yang biasanya diekspresikan sebagai kerugian dari suatu kejadian atau suatu resiko. Oleh karena itu, perhitungan resiko dilakukan dengan mengalikan nilai *likelihood* dengan *consequence*.

Kombinasi *ranking* yang diberikan oleh frekuensi dan konsekuensi tersebut akan memberikan level risiko tersendiri pada jalur pipa. Level risiko tersebut akan ditampilkan dalam matrik risiko untuk mengetahui tingkat risiko yang terjadi saat ini. Tingkat risiko tersebut yang akan menentukan apakah jalur pipa offshore masih dalam kondisi aman atau perlu dilakukan langkah mitigasi untuk mengurangi tingkat risiko yang ada.

2.2.9.1 Perhitungan Konsekuensi

Konsekuensi merupakan bagian yang terpenting dari proses *risk analysis* disamping frekuensi. Dalam melakukan penelitian atau perkiraan konsekuensi bisa dengan cara melakukan perhitungan analisis (matematis). Sebelum melakukan perhitungan perkiraan konsekuensi, harus tersedia terlebih dahulu data-data mengenai objek yang akan dihitung konsekuensinya serta data-data dari objek penyebab resikonya.

Pada Tugas Akhir ini untuk melakukan perkiraan konsekuensi dilakukan dengan cara menghitung kekuatan atau daya tahan pipa apabila terkena tarikan jangkar. Selain itu, hal lain yang perlu diperhatikan dalam menghitung konsekuensi adalah harus memiliki rujukan atau acuan standar yang resmi dan diakui oleh dunia internasional agar hasil analisa menjadi lebih akurat dan dapat menghindari adanya perbedaan pendapat, seperti DNV, ASME, dan lain sebagainya. Untuk Tugas Akhir ini menggunakan acuan ranking konsekuensi dari IPC (*International Pipeline Conference*) seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 *Ranking* Konsekuensi (IPC, 2006)

Probability Rank, P	Proposed Range of Calculated P_{fail}
1	$P_{fail} \leq 0.1\%$
2	$0.1\% < P_{fail} \leq 1\%$
3	$1\% < P_{fail} \leq 10\%$
4	$10\% < P_{fail} \leq 50\%$
5	$P_{fail} > 50\%$

2.2.9.2 Peluang Terjadinya Kegagalan

Setelah bahaya pada sistem atau proses dapat diidentifikasi, langkah berikutnya adalah dengan menghitung peluang terjadinya kegagalan (frekuensi kegagalan). Dalam menghitung frekuensi kegagalan dilakukan dengan metode *Monte Carlo*.

Tabel 2.5 *Ranking Frekuensi (DNV RP F107)*

<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Annual frequency</i>
1 (low)	So low frequency that event considered negligible.	$<10^{-5}$
2	Event rarely expected to occur.	$10^{-4} > 10^{-5}$
3 (medium)	Event individually not expected to happen, but when summarised over a large number of pipelines have the credibility to happen once a year.	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	Event individually may be expected to occur during the lifetime of the pipeline. (Typically a 100 year storm)	$10^{-2} > 10^{-3}$
5 (high)	Event individually may be expected to occur more than once during lifetime.	$>10^{-2}$

2.2.9.3 Matriks Resiko

Matriks resiko adalah bagan yang menyajikan hasil analisa resiko suatu system dimana penyajiannya dalam bentuk matriks. Setelah mengetahui tingkatan dari peluang kegagalan dan konsekuensi kegagalan maka dapat membuat matriks resiko. Dengan mengacu pada standar DNV RP F107 tentang *Risk Assessment of Pipeline Protection*, penjelasan *risk assessment* dapat digambarkan berupa matriks seperti pada **Gambar 2.7**.

PoF Ranking	PoF Description	A	B	C	D	E
5	(1) In a small population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in the location.	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	(1) In a large population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in operating company.	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components. (2) Failure has occurred in the operating company.	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety	No Injury	Minor Injury Absence < 2 days	Major Injury Absence > 2 days	Single Fatality	Multiple Fatalities
	Environment	No pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily.	Significant local effect. Will take more than 1 man week to remove.	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. population of birds or fish).	Pollution that can cause massive and irreversible damage to ecosystem.
	Business	No downtime or asset damage	< € 10,000 damage or downtime < one shift	< € 100,000 damage or downtime < 4 shifts	< € 1,000,000 damage or downtime < one month	< € 10,000,000 damage or downtime one year
CoF Ranking		A	B	C	D	E

Gambar 2.9 Matriks Resiko (DNV RP F116)

2.2.10 ANSYS

ANSYS merupakan salah satu perangkat lunak engineering yang banyak digunakan baik dalam penelitian, problem solving dan design. Penggunaan ANSYS mencakup simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. ANSYS merupakan *computer aided engineering* (CAE) yang dikembangkan oleh **ANSYS, Inc.** Dalam pengerjaan tugas akhir ini digunakan ANSYS Structural dalam memodelkan pipa untuk mendapatkan tegangan pipa.

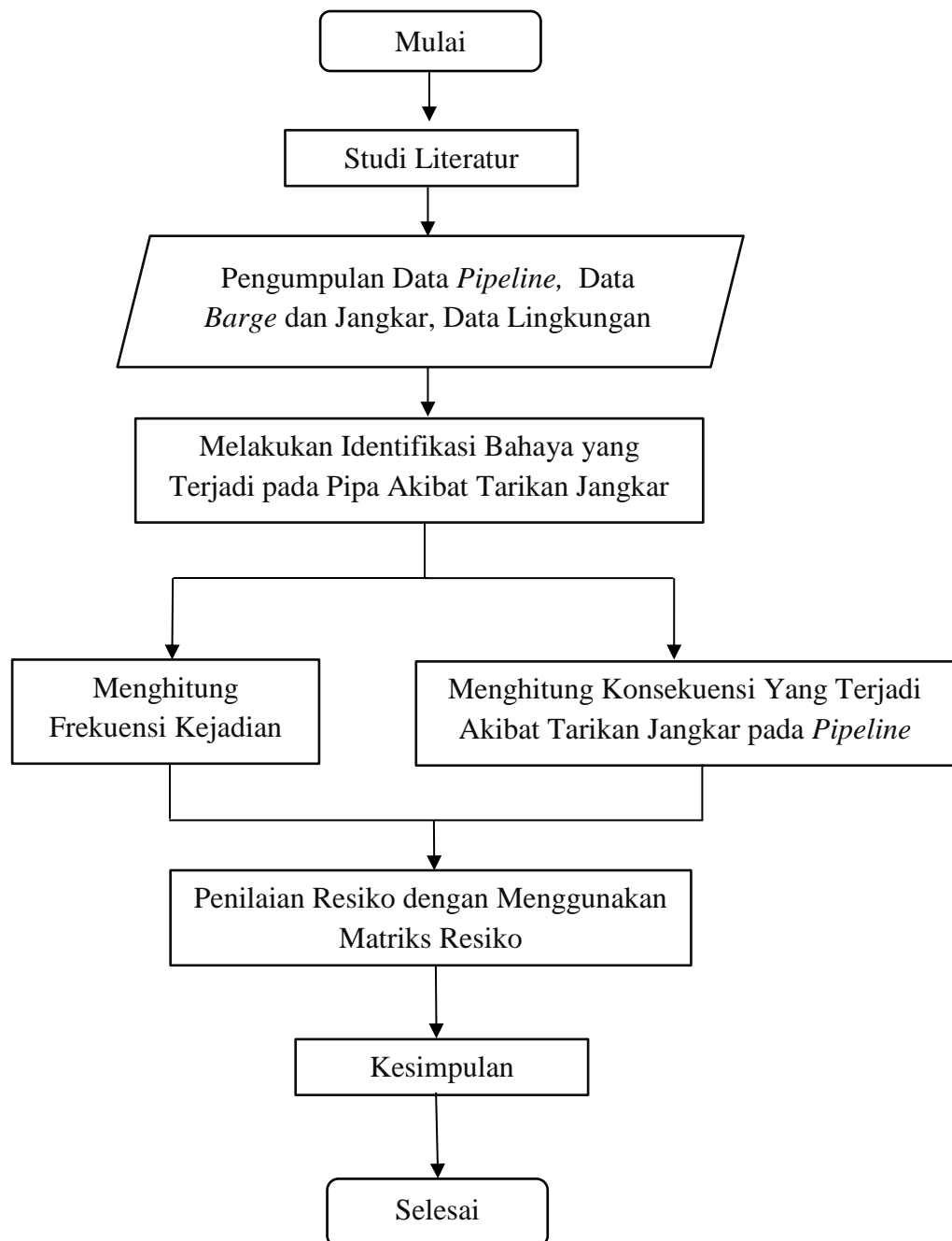
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. METODE PENELITIAN

Langkah pengerjaan Tugas Akhir ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**:



Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Dari diagram alir diatas, maka dapat diuraikan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan mempelajari serta memahami paper, jurnal, dan literature lain yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti pada tugas akhir ini. Selain itu juga mempelajari *software* yang akan digunakan untuk penelitian pada tugas akhir ini, yaitu *software* ANSYS.

2. Pengumpulan Data

Data pipa bawah laut, data kapal, data jangkar, dan data lingkungan yang akan digunakan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

3. Menghitung besarnya frekuensi kejadian saat kapal menurunkan jangkar di daerah jaringan pipa dan peluang jangkar untuk menarik pipa, sehingga bisa didapatkan besarnya frekuensi per tahun jangkar untuk menarik pipa.

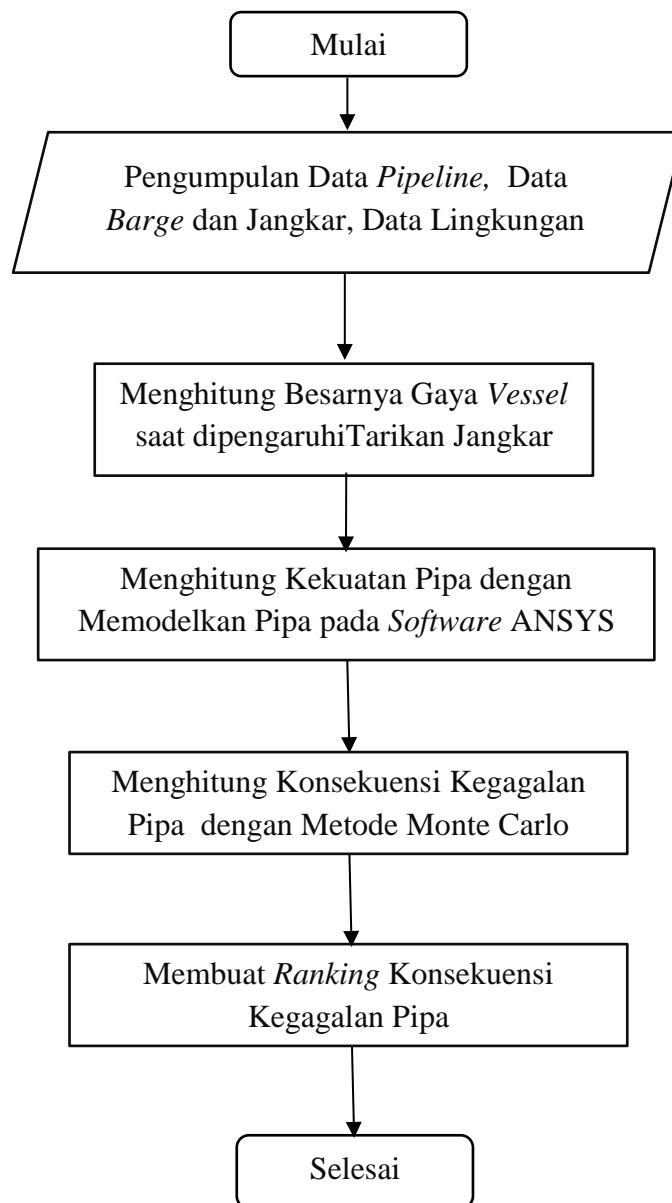
4. Menghitung konsekuensi yang terjadi pada pipa akibat terkena tarikan jangkar.

5. Memetakan peluang kejadian tarikan jangkar beserta konsekuensi ke dalam matriks resiko sesuai dengan *ranking* dari masing-masing peluang kejadian dan konsekuensi.

6. Melakukan penilaian resiko, dengan cara mengevaluasi hasil pemetaan peluang kejadian dengan konsekuensi dalam matriks resiko. Setelah melakukan penilaian resiko, maka dapat ditentukan apakah resiko dapat diterima atau tidak.

3.2. DIAGRAM ALIR PERHITUNGAN KONSEKUENSI KEGAGALAN

Langkah perhitungan konsekuensi kegagalan pada pipa akibat tarikan jangkar dapat dilihat pada **Gambar 3.2**:



Gambar 3.2. Diagram Alir Analisa Konsekuensi Kegagalan

Dari diagram alir diatas, maka dapat diuraikan langkah-langkah perhitungan konsekuensi kegagalan pipa jika terseret jangkar sebagai berikut :

1. Menghitung besarnya tahanan kapal dengan variasi kecepatan 7 knot, 8 knot, dan 9 knot.

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \quad (3.1)$$

Keterangan :

R_t = Tahanan Total (kN)

ρ = Massa jenis air laut (ton/m³)

C_t = Koefisien tahanan total

S = Luas permukaan basah (m²)

v = Kecepatan service (m/s)

2. Menghitung besar *anchor holding force* dengan menggunakan metode *The Power Law*.

$$H_m = H_r \left(\frac{W_a}{10.000} \right)^b \quad (3.2)$$

Keterangan :

H_m = *Anchor holding capacity* (lbs)

H_r = *Holding capacity of a 10,000-pound*

W_a = Berat jangkar di udara (lbs)

b = *Exponent depe*

3. Menghitung besar gaya tarikan jangkar dengan pengaruh variasi kecepatan kapal.
4. Melakukan pemodelan pipa menggunakan *software* ANSYS dengan variasi panjang pipa 20.32 m, 30.48 m, dan 40.64 m.
5. Melakukan simulasi *Monte Carlo* dengan menggunakan moda kegagalan sebagai berikut:

$$g(X) = \sigma_{ys} - \sigma_e \quad (3.3)$$

Keterangan :

$g(X)$ = Fungsi limit

σ_{ys} = *Yiels Strength* (MPa)

= $0.9 \times \text{SMYS}$

σ_e = *Equivalent stress* (MPa)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Data Pipeline

Pipa lepas pantai milik *Total E & P Indonesia* yang berada di *Tunu field*, Blok Mahakam ini digunakan untuk menghubungkan *wellhead platform* baru dengan *pig receiver*. Pipa bawah laut digunakan untuk menghubungkan *wellhead platform A* dengan *ESDV service platform* yang telah ada sebelumnya. Data pipa bawah laut yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Umum Desain Pipa (*Total E & P Indonesia*, 2014)

<i>PROPERTY</i>	<i>VALUE</i>	<i>UNIT</i>
<i>Pipeline Thickness (t)</i>	20.625	<i>mm</i>
<i>Pipe Outside Diameter (OD)</i>	219.75	<i>mm</i>
<i>Pipe Inside Diameter (d)</i>	177.825	<i>mm</i>
<i>Pipeline Material & Grade</i>	API 5L Gr. X65	-
<i>Temp. of Pipe at Installation (T₁)</i>	36	<i>Deg.C</i>
<i>Design Pressure of Pipe (P)</i>	220.48	<i>Bar</i>
<i>Operating Temp. of Pipe at Movement (T₂)</i>	100	<i>Deg.C</i>
SMYS	448.159	<i>MPa</i>
<i>Modulus Elasticity (E)</i>	552.623	<i>MPa</i>
<i>Poisson Ratio (μ)</i>	0.3	-
<i>Density of Steel (ρ steel)</i>	7,800.00	<i>Kg/m³</i>
<i>Density of Gas (ρ gas)</i>	49.98	<i>Kg/m³</i>
<i>Fluid Density (ρ fluid)</i>	1,025.22	<i>Kg/m³</i>
Kedalaman	6	<i>m</i>

4.1.2 Data Kapal

Data umum kapal SV. UNDAN :

- Nama Kapal : SV. UNDAN
- *Type* : *SUPPLY VESSEL*
- *Classification Society* : BKI
- *Flag* : INDONESIA
- *Owner* : PT. BARUNA RAYA LOGISTICS
- *Call Sign* : YDPY
- *IMO Number* : 7047320

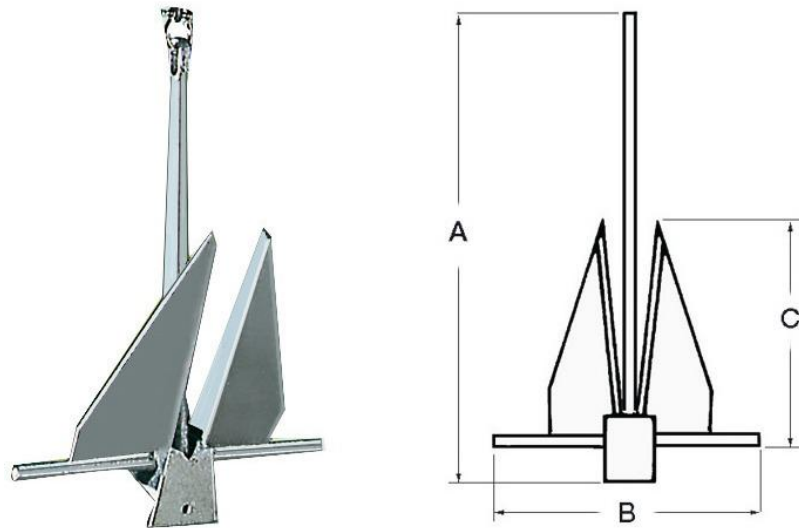
Tabel 4.2 Data *Supply Vessel* UNDAN

Parameter		Unit
<i>Length Between Perpendicular (LPP)</i>	47.7	m
Lwl	48.89	m
<i>Breadth (B)</i>	11.58	m
<i>Height (H)</i>	4.57	m
<i>Draught (T)</i>	3.7	m
Cb	0.668	-
Cp	0.755	-
Cm	0.884	-
Vs	14	Knot

4.1.2 Data Jangkar

Jangkar yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan jangkar dengan berat 680 kg dengan tipe jangkar *danforth* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Spesifikasi *mooring* telah ditentukan pada *stability booklet* SV. UNDAN seperti berikut :

- 4 point *mooring* :
 - *Bow Anchor Danforth* (2 x @ 680 kg)
 - *Stern Anchor Danforth* (2 x @ 680 kg)



Gambar 4.1 *Danforth Anchor*

4.1.3 Data Lingkungan

Tabel 4.3 Data Lingkungan (*Total E & P Indonesia*, 2014)

Parameter		Satuan
Hs	1.76	m
Tp	4.805	s
Tz	3.41	s
<i>Current Speed</i>	0.65	m/s
<i>Wind Speed</i>	9.1	m/s

4.2 Perhitungan Konsekuensi

Dalam Tugas Akhir ini untuk menghitung konsekuensi, penulis menggunakan tabel *ranking* konsekuensi dari DNV RP F107 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.4**. Dengan menghitung besarnya tahanan kapal, *anchor holding force* dan gaya kapal saat melakukan tarikan pada pipa.

4.2.1 Menghitung Besar Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan (S.A. Harvald, 1983) adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa hingga melawan gerakan kapal tersebut. Dalam Tugas Akhir ini, untuk mengetahui besarnya gaya yang mengenai pipa diperlukan menghitung besar tahanan kapal dan besar *anchor holding force*. Dengan diketahui dua gaya tersebut maka dapat dihitung gaya tarikan kapal dengan pengaruh jangkar yang mengenai pipa.

Dalam menghitung besar tahanan kapal digunakan rumus Guldhammer dan Harvald dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \quad (4.1)$$

Keterangan :

- R_t = Tahanan Total (kN)
- ρ = Massa jenis air laut (ton/m³)
- C_t = Koefisien tahanan total
- S = Luas permukaan basah (m²)
- v = Kecepatan service (m/s)

Dimana,

$$C_t = C_r + C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS} \quad (4.2)$$

Keterangan :

- C_t = Koefisien tahanan total
- C_r = Koefisien tahanan sisa
- C_F = Koefisien tahanan gesek
- C_A = Keofisien tahanan tambahan
- C_{AA} = koefisien tahanan udara
- C_{AS} = koefisien tahanan kemudi

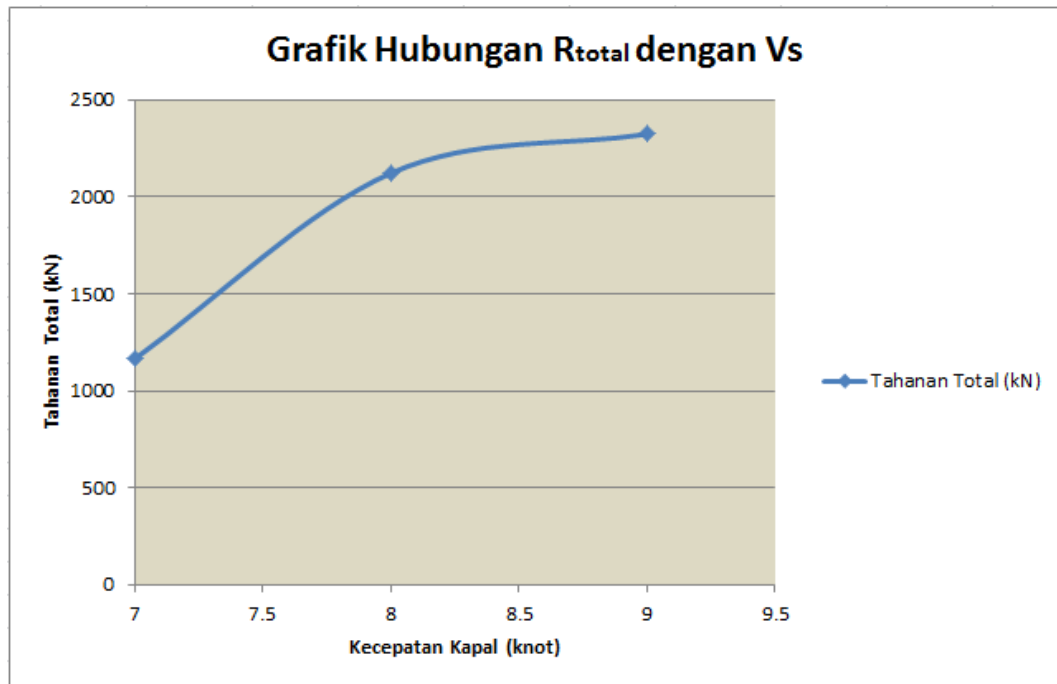
Dengan menggunakan persamaan di atas didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.4** sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Tahanan Total dengan Variasi Kecepatan

No	Vs (knot)	Rtotal (kN)
1	7	1164.92
2	8	2121.795
3	9	2322.699

Hasil yang didapatkan dari perhitungan menunjukkan besarnya gaya tahanan total kapal dengan adanya pengaruh kecepatan dari kapal tersebut. Untuk perhitungan besar dari nilai kecepatan kapal divariasikan sedemikian rupa untuk

menunjukkan besarnya perubahan tahanan total untuk tiap-tiap kecepatan. Pada **Gambar 4.2** disajikan grafik hubungan antara besarnya tahanan total kapal dengan kecepatan kapal yang bekerja.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara R_{total} dengan V_s

4.2.2 Menghitung Besar *Anchor Holding Force*

Dalam Tugas Akhir ini untuk menghitung besarnya tarikan jangkar yang mengenai pipa digunakan *The Power Law Method*. *The Power Law Method* merupakan metode terbaik dalam menghitung *anchor holding capacity*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_m = H_r \left(\frac{W_a}{10.000} \right)^b \quad (4.3)$$

Keterangan :

H_m = *Anchor holding capacity* (lbs)

H_r = *Holding capacity of a 10,000-pound (dry weight) version of the reference anchor*

W_a = Berat jangkar di udara (lbs)

b = Exponent depending on the anchor and soil type

$$\begin{aligned}W_a &= 680 \text{ kg} \\ &= 1499 \text{ lbs}\end{aligned}$$

Maka,

$$H_m = 87 \left(\frac{1499}{10.000} \right)^{0.92}$$

$$H_m = 87(0.1499)^{0.92}$$

$$H_m = 87(0,1745)$$

$$H_m = 15,1795 \text{ lbs}$$

$$H_m = 0.0676 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan *anchor holding force* yang telah dilakukan dapat dinyatakan bahwa besarnya gaya tahanan jangkar dengan tipe *danforth* pada jenis tanah *soft clay* adalah sebesar 0.0676 kN.

4.2.3 Menghitung Besar Gaya Tarikan Jangkar

Besar gaya tarikan jangkar yang dimaksudkan adalah besarnya tarikan jangkar saat kapal masih mempunyai kecepatan dan dalam kondisi darurat menurunkan jangkar. Karena pada saat kapal menurunkan jangkar masih mempunyai kecepatan, maka tidak dapat langsung diasumsikan bahwa besarnya *anchor holding force* (H_m) pada perhitungan sebelumnya merupakan *input* untuk gaya tarikan yang mengenai pipa. Gaya tarikan jangkar yang mengenai pipa juga harus memperhitungkan besarnya nilai tahanan kapal saat masih mempunyai kecepatan, oleh karena itu diperlukan perhitungan R_{total} .

Dari penelitian yang dilakukan Mulyadi (2014) didapatkan persamaan yang menghitung waktu yang dibutuhkan kapal untuk berhenti ketika dipengaruhi dengan *anchor holding force*. Pada persamaan tersebut didapatkan hubungan besarnya nilai *anchor holding force* dan tahanan total kapal, seperti berikut:

$$T = - \frac{\Delta \cdot V}{R_{total} + H_m} \quad (4.4)$$

Keterangan :

T = Waktu yang diperlukan untuk kapal berhenti (detik)

Δ = *Displacement* (ton)

V = Kecepatan awal kapal (m/s^2)

R_{total} = Tahanan total kapal (kN)

H_m = *Anchor holding force* (kN)

Setelah diketahui waktu yang dibutuhkan kapal untuk berhenti, dengan menggunakan persamaan Hukum II Newton dihitung besar gaya tarikan jangkar pada pipa seperti pada persamaan berikut ini:

$$F = m \times a \quad (4.5)$$

$$F = \Delta \cdot -a \quad (4.6)$$

Untuk nilai a pada persamaan ini dianggap sebagai nilai perlambatan kapal. Dalam menghitung nilai a dilakukan dengan pendekatan persamaan yang berhubungan dengan waktu, kecepatan, dan massa seperti persamaan berikut:

$$a = \frac{V_i}{T} \quad (4.7)$$

Setelah didapatkan nilai a maka selanjutnya dapat dihitung nilai F , sehingga didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.5** berikut ini :

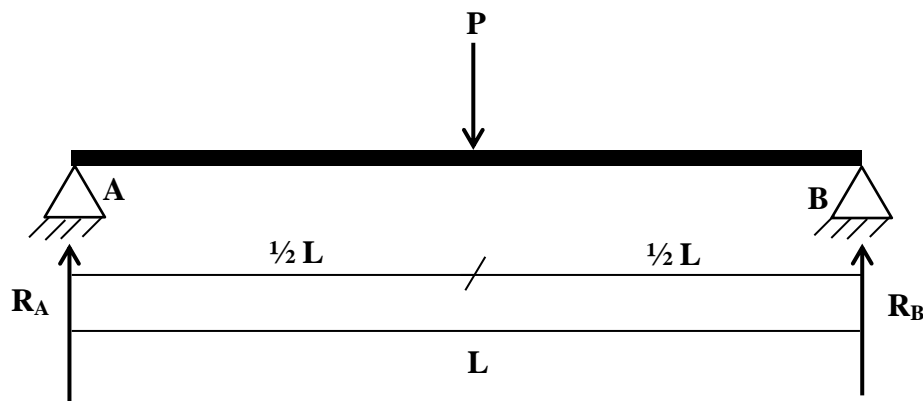
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Besar Tarikan Jangkar

No	Vs (knot)	Rtotal (kN)	T (detik)	F (kN)
1	7	1164.92	43.47	1164.89
2	8	2121.795	27.246	2121.863
3	9	2322.699	25.79	2323.7189

Nilai F pada **Tabel 4.5** menunjukkan besar tarikan jangkar saat kapal masih mempunyai *initial velocity*. Sehingga hasil ini dapat dimasukkan sebagai *input* gaya tarikan jangkar pada pemodelan di *software* ANSYS selanjutnya.

4.2.4 Pemodelan Pada ANSYS

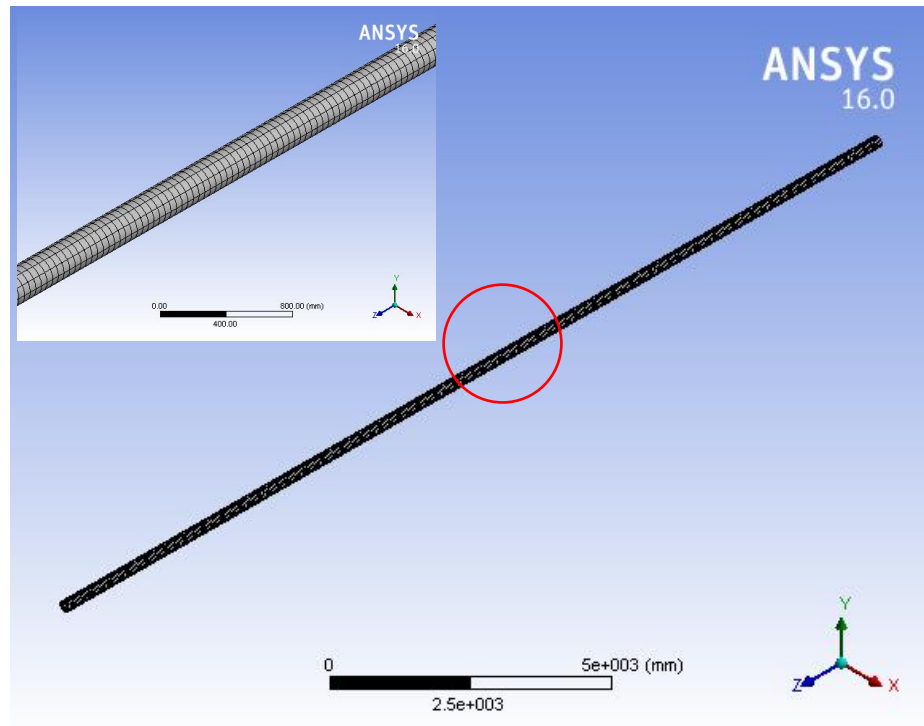
Setelah mendapat besar gaya tarikan jangkar dengan perhitungan, maka selanjutnya adalah melakukan pemodelan pada *software* ANSYS. Untuk pemodelan pipa pada *software* ANSYS dapat dimodelkan dalam model mekanika teknik dengan gaya reaksi seperti pada **Gambar 4.3** berikut ini :



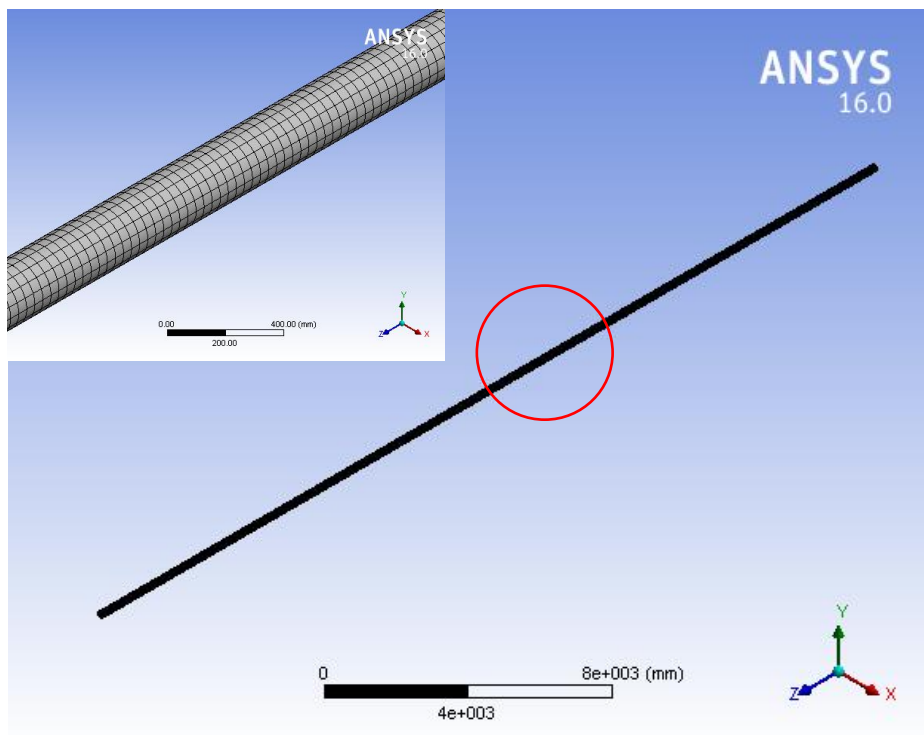
Gambar 4.3 Gaya reaksi pada pipa

Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan *equivalent stress* pipa saat terkena gaya-gaya yang bekerja pada pipa. Pemodelan dilakukan dengan memvariasikan panjang pipa menjadi tiga, yaitu pipa dengan panjang 20.32 m, 30.48 m dan 40.64 m. Langkah pertama yang dilakukan untuk pemodelan pada ANSYS adalah membuat model geometri pipa dan melakukan *meshing* pada model.

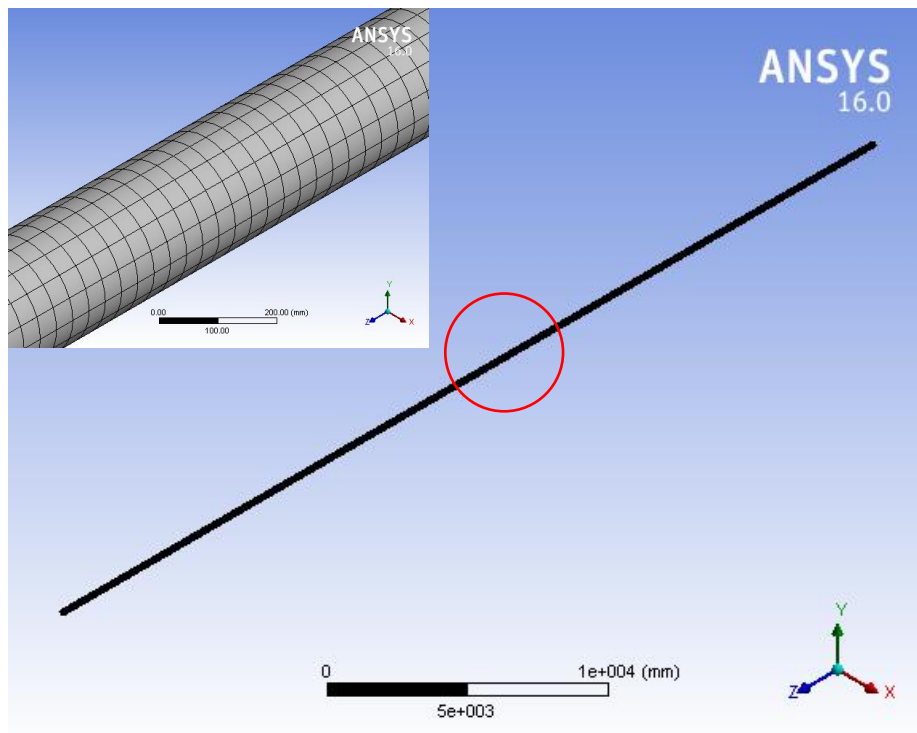
Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan *equivalent stress* pipa saat terkena gaya-gaya yang bekerja pada pipa. Pemodelan dilakukan dengan memvariasikan panjang pipa menjadi tiga, yaitu pipa dengan panjang 20.32 m, 30.48 m dan 40.64 m. Langkah pertama yang dilakukan untuk pemodelan pada ANSYS adalah membuat model geometri pipa dan melakukan *meshing* pada model.



Gambar 4.4 Model pipa dengan panjang 20.32 m setelah *meshing*



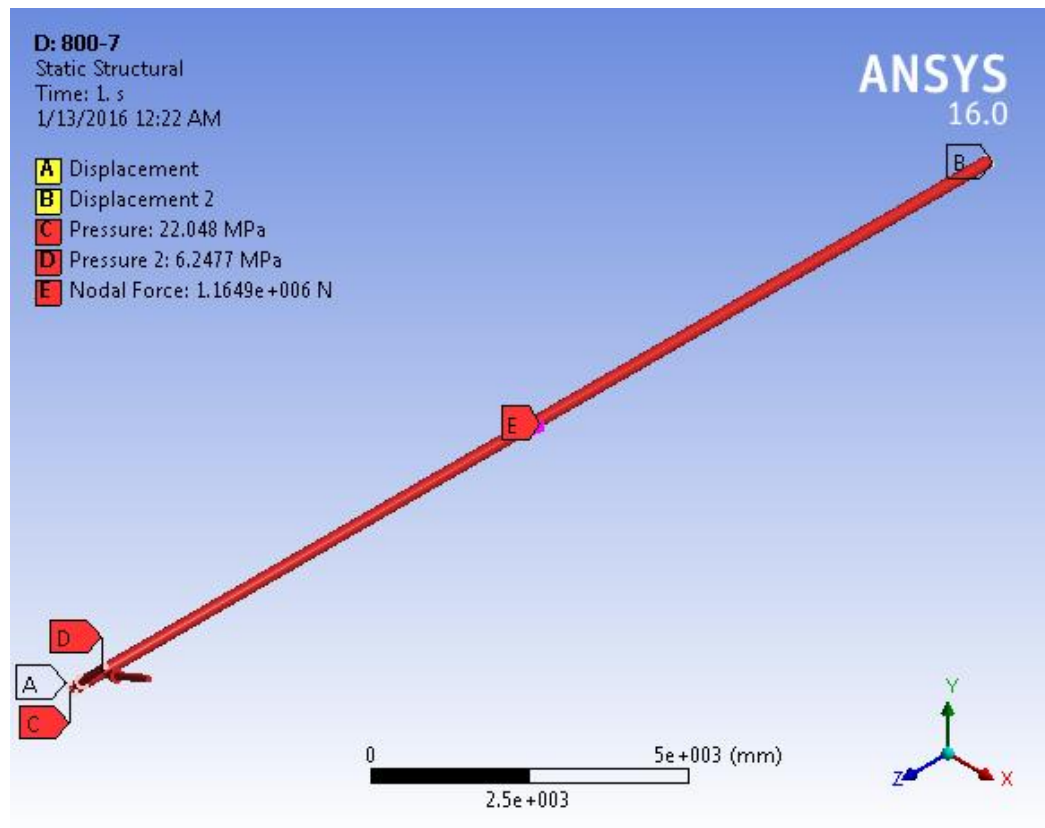
Gambar 4.5 Model pipa dengan panjang 30.48 m setelah *meshing*



Gambar 4.6 Model pipa dengan panjang 40.64 m setelah *meshing*

Dalam Tugas Akhir ini untuk pemodelan pada ANSYS dilakukan pada dua kondisi. Kondisi yang pertama adalah kondisi pipa pada kondisi sebenarnya dan belum terpengaruhi oleh gaya tarikan jangkar. Sedangkan kondisi kedua adalah saat pipa yang telah dimodelkan dengan kondisi pertama kemudian diberikan pengaruh tarikan jangkar.

Untuk kondisi pertama, pada tiap variasi panjang pipa gaya yang dimasukkan ke dalam pemodelan adalah besar tekanan internal dan tekanan eksternal dengan menggunakan *pinned boundary condition* pada tiap ujung pipa. Besar tekanan internal pada pipa yang dimaksud adalah besar tekanan internal dari fluida yang mengalir di dalam pipa. Sedangkan untuk tekanan eksternal pipa didapatkan dari tekanan hidrostatik pada pipa. Untuk kondisi kedua, besar gaya tarikan jangkar dengan pengaruh kecepatan dimasukkan ke dalam pemodelan pipa dalam bentuk *nodal force* yang dipusatkan pada bagian tengah pipa. Pada **Gambar 4.7** ditunjukkan bagaimana gaya-gaya pada kondisi pertama dan kondisi kedua dimasukkan ke dalam pemodelan ANSYS.



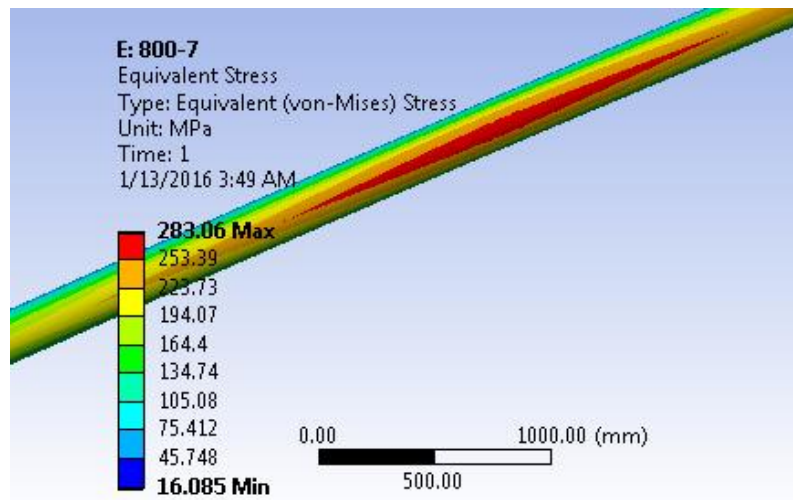
Gambar 4.7 Gaya yang bekerja pada pipa

4.2.4.1 Pemodelan Pipa 20.32 Meter

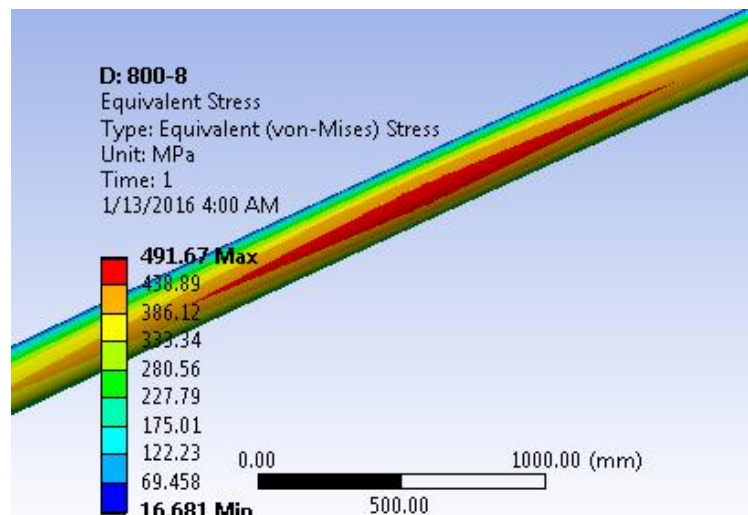
Hasil pemodelan pipa dengan panjang 20.32 m setelah diberikan gaya-gaya pipa dan juga gaya tarikan jangkar dengan variasi kecepatan kapal 7, 8 dan 9 knot dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Hasil *Equivalent Stress* Pipa dengan Panjang 20.32 m

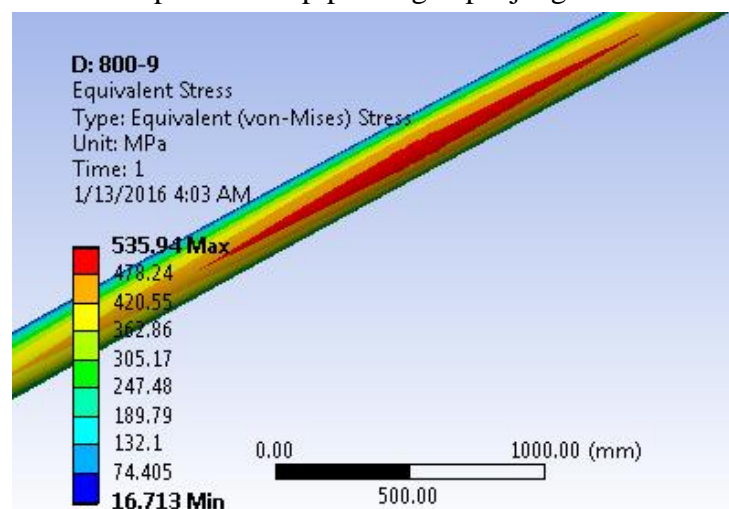
No	Vs (knot)	F (kN)	σ_e (MPa)
1	7	1164.89	283.06
2	8	2121.863	491.67
3	9	2323.7189	535.94



Gambar 4.8 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 20.32 m untuk $V_s = 7$ knot



Gambar 4.9 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 20.32 untuk $V_s = 8$ knot



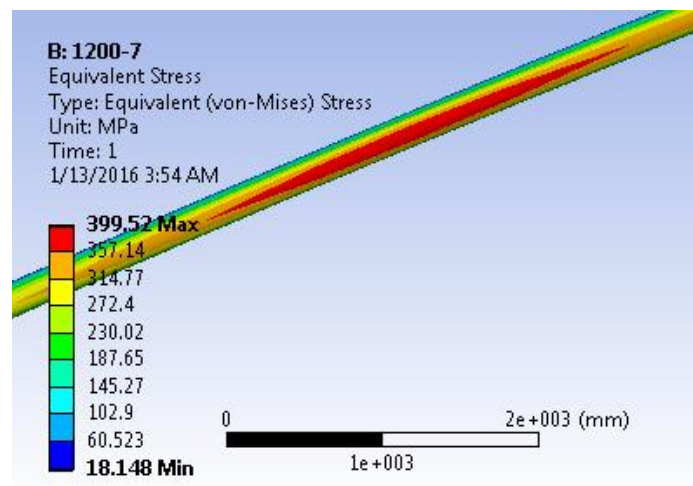
Gambar 4.10 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 20.32 m untuk $V_s = 9$ knot

4.2.4.2 Pemodelan Pipa 30.48 Meter

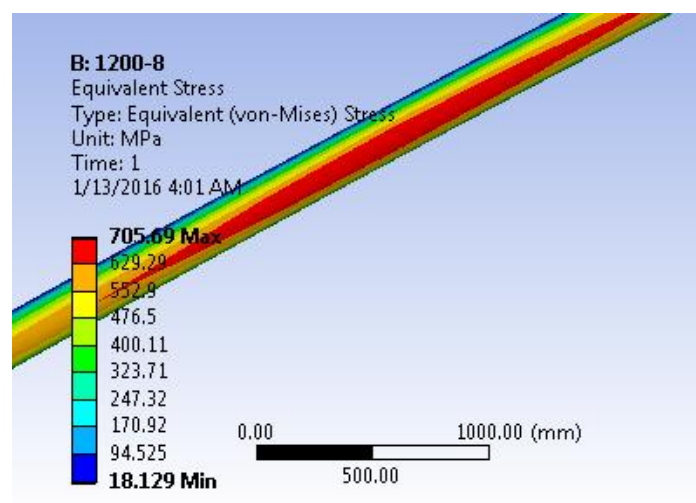
Hasil pemodelan pipa dengan panjang 30.48 m setelah diberikan gaya-gaya pipa dan juga gaya tarikan jangkar dengan variasi kecepatan kapal 7, 8 dan 9 knot dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Hasil *Equivalent Stress* Pipa dengan Panjang 30.48 m

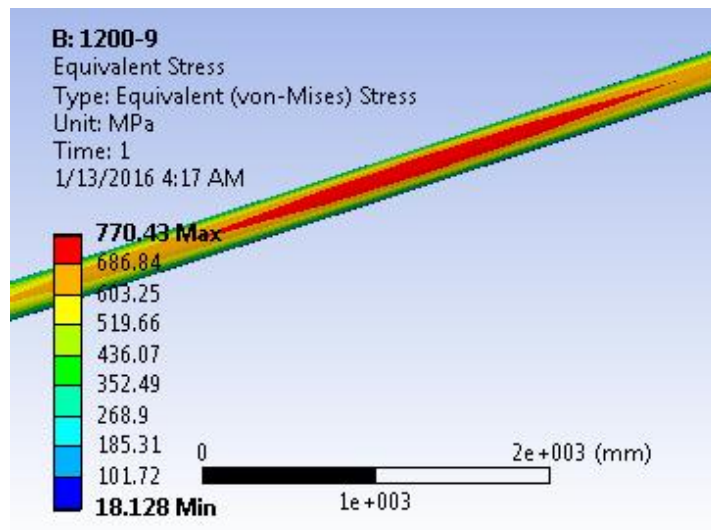
No	Vs (knot)	F (kN)	σ_e (MPa)
1	7	1164.89	399.52
2	8	2121.863	705.69
3	9	2323.7189	770.43



Gambar 4.11 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 30.48 m untuk $V_s = 7$ knot



Gambar 4.12 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 30.48 m untuk $V_s = 8$ knot



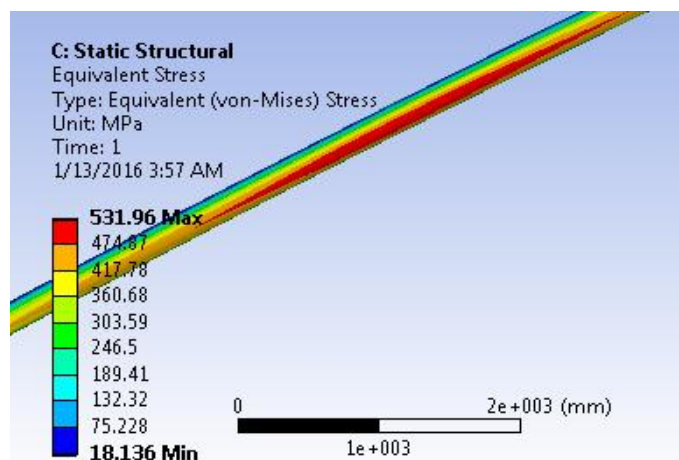
Gambar 4.13 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 30.48 m untuk $V_s = 9$ knot

4.2.4.3 Pemodelan Pipa 40.64 Meter

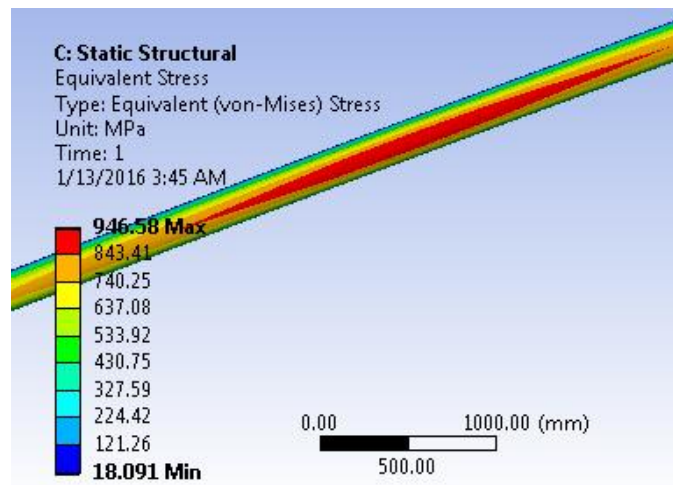
Hasil pemodelan pipa dengan panjang 40.64 m setelah diberikan gaya-gaya pipa dan juga gaya tarikan jangkar dengan variasi kecepatan kapal 7, 8 dan 9 knot dapat dilihat pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Hasil *Equivalent Stress* Pipa dengan Panjang 40.64 m

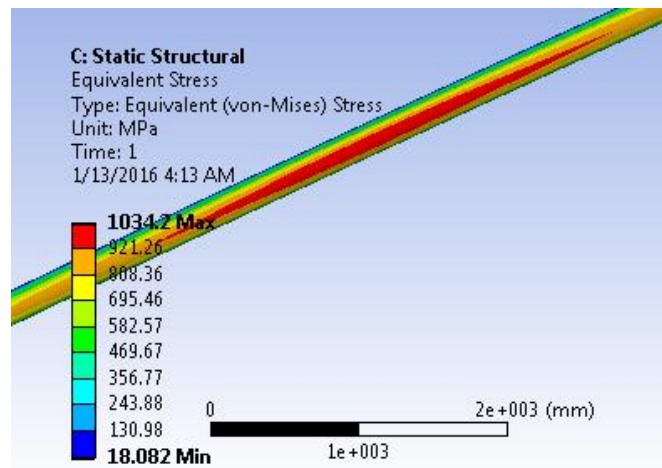
No	Vs (knot)	F (kN)	σ_e (MPa)
1	7	1164.89	531.96
2	8	2121.863	946.58
3	9	2323.7189	1034.2



Gambar 4.14 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 40.64 m untuk $V_s = 7$ knot



Gambar 4.15 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 40.64 m untuk $V_s = 8$ knot



Gambar 4.16 Hasil pemodelan pipa dengan panjang 40.64 m untuk $V_s = 9$ knot

4.2.3 Simulasi *Monte Carlo*

Kegagalan pipa yang ditinjau adalah kegagalan pipa akibat tarikan jangkar. Moda kegagalan yang digunakan berdasarkan DNV OS F101 *Submarine Pipeline System* adalah sebagai berikut :

$$g(X) = \sigma_{ys} - \sigma_e \quad (4.8)$$

Keterangan :

$g(X)$ = Fungsi limit

σ_{ys} = *Yiels Strength* (MPa)

$$= 0.9 \times \text{SMYS}$$

σ_e = *Equivalent stress* (MPa)

$$g(X) = 0.9SMYS - \sigma_e \quad (4.9)$$

Dalam menghitung frekuensi kegagalan Tugas Akhir ini dilakukan untuk tiap variasi panjang pipa dengan menggunakan metode *Monte Carlo*. Sesuai dengan persamaan moda kegagalan yang telah ditetapkan, apabila nilai *equivalent stress* lebih besar dari 0.9SMYS maka struktur akan mengalami kegagalan.

4.3.1 Variabel Acak Untuk Pipa dengan Panjang 20.32 Meter

Untuk melakukan simulasi *Monte Carlo* diperlukan nilai variabel acak yang akan digunakan seperti pada **Tabel 4.9** berikut ini:

Tabel 4.9 *Random Variabel* Untuk Pipa dengan Panjang 20.32 m

V_s (Knot)	ID	Normal Dist.		
		Mean	SD	CoV
7	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	149.538	11.634	0.0778
8	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	254.175	19.775	0.0778
9	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	276.325	21.498	0.0778

4.3.2 Variabel Acak Untuk Pipa dengan Panjang 30.48 Meter

Untuk melakukan simulasi *Monte Carlo* diperlukan nilai variabel acak yang akan digunakan seperti pada **Tabel 4.10** berikut ini:

Tabel 4.10 *Random Variabel* Untuk Pipa dengan Panjang 30.48 m

V_s (Knot)	ID	Normal Dist.		
		Mean	SD	CoV
7	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	208.834	16.247	0.0778
8	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	361.91	28.157	0.0778
9	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	394.279	30.675	0.0778

4.3.3 Variabel Acak Untuk Pipa dengan Panjang 40.64 Meter

Untuk melakukan simulasi *Monte Carlo* diperlukan nilai variabel acak yang akan digunakan seperti pada **Tabel 4.11** berikut ini:

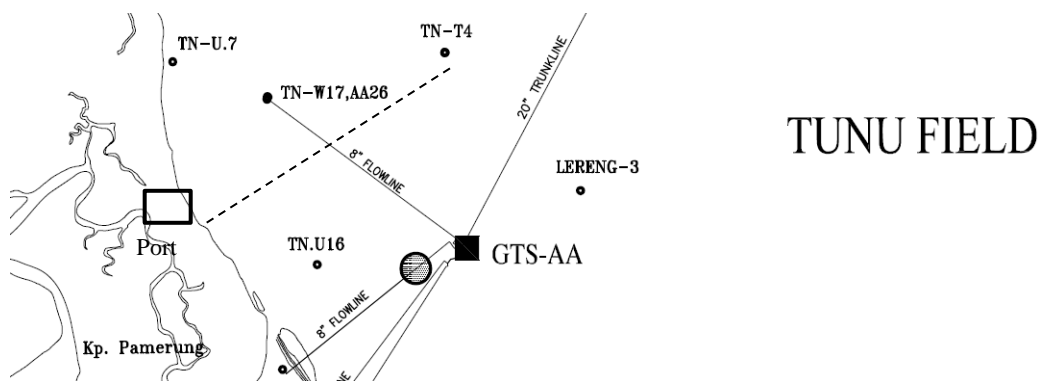
Tabel 4.11 *Random Variabel* Untuk Pipa dengan Panjang 40.64 m

V_s (Knot)	ID	Normal Dist.		
		Mean	SD	CoV
7	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	275.048	21.399	0.0778
8	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	482.335	37.526	0.778
9	SMYS (MPa)	322.2	25.06	0.0778
	σ_e (MPa)	526.124	40.932	0.0778

4.4 Menghitung Besar Frekuensi Kejadian

Dalam menghitung besar frekuensi kegagalan pipa yang terkena besar tarikan jangkar diperlukan untuk mengetahui peluang kapal untuk menjatuhkan jangkar. Sehingga dengan begitu dapat diketahui besar frekuensi kapal menjatuhkan jangkar per tahun. Dalam Tugas Akhir ini untuk menghitung besar frekuensi kejadian kapal menjatuhkan jangkar dapat dilakukan seperti berikut:

1. Menentukan bagaimana alur kapal saat melewati pipa. Untuk studi kasus pada Tugas Akhir ini alur kapal saat melewati jalur pipa dapat dilihat pada **Gambar 4.17**.



Gambar 4.17 Alur kapal saat melintasi daerah pipa

2. Setelah mengetahui bagaimana alur kapal saat beroperasi pada daerah yang terdapat jaringan pipa bawah laut, maka dapat ditentukan besar

peluang kapal melewati daerah tersebut. Dari **Gambar 4.16** dapat dilihat jika kapal melewati jalur pipa dengan alur *crossing* dengan terletaknya pipa bawah laut. Karena alur bergerak kapal yang *crossing* dengan letak pipa bawah laut, maka dapat disimpulkan bahwa peluang kapal melewati daerah tersebut adalah satu. Diketahui bahwa SV. Undan beroperasi sekitar tiga kali dalam seminggu, sehingga dalam satu tahun dapat dihitung jika SV. Undan melewati daerah tersebut sekitar 144 kali

3. Langkah selanjutnya yang perlu dilakukan setelah mengetahui besarnya peluang kapal melewati lokasi pipa adalah menentukan besar peluang kapal menjatuhkan *emergency anchor*. Dalam Tugas Akhir ini untuk menentukan besar peluang kapal menjatuhkan *emergency anchor* digunakan acuan dari jurnal penelitian yang dilakukan oleh Mulyadi (2014), yaitu sebesar 3.6×10^{-5} .

4. Setelah diketahui peluang kapal melewati daerah lokasi pipa dan besar peluang kapal menjatuhkan jangkar, maka dapat dihitung frekuensi per tahun kapal menjatuhkan jangkar di daerah lokasi pipa sebesar

$$\text{Frekuensi} = 3.6 \times 10^{-5} \times (144 \times 2)$$

$$\text{Frekuensi} = 1.04 \times 10^{-2}$$

4.5 Menentukan Tingkat Resiko

Matriks resiko adalah bagan yang menyajikan hasil analisa resiko suatu sistem dimana penyajiannya dalam bentuk matriks. Pada matriks resiko menyajikan hubungan antara frekuensi terjadinya kegagalan dan konsekuensi dari kegagalan tersebut. Untuk membuat matriks resiko hal yang perlu dilakukan adalah membuat *ranking* frekuensi terjadinya kegagalan dan *ranking* konsekuensi.

4.5.1 *Ranking* Konsekuensi Kegagalan

Besarnya konsekuensi kegagalan yang sudah diperoleh dengan pemodelan *software* dan hasil simulasi *Monte Carlo* kemudian dibuat *ranking* berdasarkan tabel *ranking* konsekuensi seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

Dengan acuan tersebut, maka dapat dibuat *ranking* konsekuensi untuk pipa dengan variasi panjang 20.32 m, 30.48 m, dan 40.64 m seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.12 *Ranking* Konsekuensi Pipa 20.32 meter

Vs (knot)	σ_e (MPa)	Peluang Kejadian Gagal	<i>Ranking</i>
7	283.06	0	1
8	491.67	0.1173	4
9	535.94	0.3294	4

Tabel 4.13 *Ranking* Konsekuensi Pipa 30.48 meter

Vs (knot)	σ_e (MPa)	Peluang Kejadian Gagal	<i>Ranking</i>
7	399.52	0.0013	2
8	705.69	0.976	5
9	770.43	0.997	5

Tabel 4.14 *Ranking* Konsekuensi Pipa 40.64 meter

Vs (knot)	σ_e (MPa)	Peluang Kejadian Gagal	<i>Ranking</i>
7	531.96	0.3219	4
8	946.58	1	5
9	1034.2	1	5

4.5.2 *Ranking* Frekuensi Kegagalan

Besarnya frekuensi kegagalan pipa akibat tarikan jangkar yang sudah diperoleh dari perhitungan yang telah dilakukan kemudian dibuat *ranking* berdasarkan tabel *ranking* frekuensi seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.5**. Sehingga hasil frekuensi kegagalan pipa akibat tarikan jangkar dengan variasi kecepatan kapal 7 knot, 8 knot, 9 knot dan variasi panjang pipa 20.32 m, 30.48 m, 40.64 m dapat dibuat *ranking* seperti pada **Tabel 4.15** berikut ini.

Tabel 4.15 *Ranking* Frekuensi Kejadian

Frekuensi	<i>Annual Frekuensi</i>	<i>Ranking</i>
1.03×10^{-2}	$> 10^{-2}$	5

4.5.3 Penyusunan Matriks Resiko

Dari hasil *ranking* konsekuensi dan frekuensi yang sudah didapat, maka dapat dibuat matriks resiko untuk masing-masing pipa dengan variasi panjang 20.32 m, 30.48 m dan 40.64 m. Matriks resiko dapat ditampilkan seperti pada gambar di bawah ini:

	<i>Consequences</i>				
<i>Frequency</i>	1	2	3	4	5
5	7 Knot			8 Knot 9 Knot	
4					
3					
2					
1					

Gambar 4.18 Matriks resiko untuk pipa dengan panjang 20.32 m

Gambar di atas menunjukkan bahwa tarikan jangkar dengan kecepatan kapal 7 knot apabila mengenai pipa dengan panjang 20.32 m, maka resiko kegagalan pipa tersebut berada pada daerah ALARP, yang merupakan batas minimal suatu resiko dapat diterima. Sedangkan untuk tarikan jangkar dengan kecepatan 8 knot dan 9 knot berada pada daerah dengan resiko kegagalan yang tidak dapat diterima (*high risk*).

	<i>Consequences</i>				
<i>Frequency</i>	1	2	3	4	5
5		7 Knot			8 Knot 9 Knot
4					
3					
2					
1					

Gambar 4.19 Matriks resiko untuk pipa dengan panjang 30.48 m

Gambar di atas menunjukkan bahwa tarikan jangkar dengan kecepatan kapal 7 knot apabila mengenai pipa dengan panjang 30.48 m, maka resiko kegagalan pipa tersebut berada pada daerah dengan resiko kegagalan yang tidak dapat diterima. Begitu pula untuk tarikan jangkar dengan kecepatan 8 knot dan 9 knot berada pada daerah dengan resiko kegagalan yang tidak dapat diterima.

	<i>Consequences</i>				
<i>Frequency</i>	1	2	3	4	5
5				7 Knot	8 Knot 9 Knot
4					
3					
2					
1					

Gambar 4.20 Matriks resiko untuk pipa dengan panjang 40.64 m

Gambar di atas menunjukkan bahwa tarikan jangkar dengan kecepatan kapal 7 knot, 8 knot dan 9 knot apabila mengenai pipa dengan panjang 40.64 m, maka resiko kegagalan pipa tersebut berada pada daerah yang tingkat kegagalannya tidak dapat diterima (*unacceptable risk*).

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yang sekaligus menjadi jawaban atas permasalahan yang diajukan. Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini :

1. Besar frekuensi kejadian per tahun kapal menjatuhkan jangkar di daerah jaringan pipa dapat ditentukan jika sudah mengetahui besar peluang kapal melintasi lokasi dan besar peluang kapal menjatuhkan jangkar pada daerah tersebut. Dari hasil perhitungan besar frekuensi kejadian per tahun didapatkan hasil frekuensi sebesar 1.04×10^{-2} . Setelah didapatkan hasil frekuensi kejadian per tahun kemudian dibuat *ranking* berdasarkan *annual frequency*. Sehingga didapatkan *ranking* untuk frekuensi kejadian sebesar 1.04×10^{-2} termasuk dalam *ranking* ke 5 dengan nilai frekuensi lebih besar dari 10^{-2} .
2. Besar konsekuensi pipa akibat terkena tarikan jangkar untuk masing-masing variasi kecepatan 7 knot, 8 knot, 9 knot dan variasi panjang pipa 20.32 m, 30.48 m, 40.64 m adalah sebagai berikut:
 - $P_{fail} \leq 0.1\%$ (*Ranking* 1) :
 - Kapal kecepatan 7 knot untuk pipa dengan panjang 20.32 m
 - $0.1\% < P_{fail} \leq 1\%$ (*Ranking* 2) :
 - Kapal kecepatan 7 knot untuk pipa dengan panjang 30.48 m
 - $1\% < P_{fail} \leq 10\%$ (*Ranking* 3) : -
 - $10\% < P_{fail} \leq 50\%$ (*Ranking* 4) :
 - Kapal kecepatan 8 knot untuk pipa dengan panjang 20.32 m
 - Kapal kecepatan 9 knot untuk pipa dengan panjang 20.32 m
 - Kapal kecepatan 7 knot untuk pipa dengan panjang 40.64 m
 - $P_{fail} > 50\%$ (*Ranking* 5) :
 - Kapal kecepatan 8 knot untuk pipa dengan panjang 30.48 m

- Kapal kecepatan 9 knot untuk pipa dengan panjang 30.48 m
 - Kapal kecepatan 8 knot untuk pipa dengan panjang 40.64 m
 - Kapal kecepatan 9 knot untuk pipa dengan panjang 40.64 m
3. Dari Matriks Resiko yang telah ditentukan pada Sub-Bab 4.4 didapat posisi pipa untuk tiap kondisi pada matriks resiko berdasarkan DNV RP F107 adalah sebagai berikut:
- *Acceptable* : -
 - *ALARP* : - Kapal kecepatan 7 knot untuk pipa dengan panjang 20.32
 - *Not Acceptable* :
 - Kapal kecepatan 7 knot untuk pipa dengan panjang 30.48
 - Kapal kecepatan 8 knot untuk pipa dengan panjang 20.32
 - Kapal kecepatan 9 knot untuk pipa dengan panjang 20.32
 - Kapal kecepatan 8 knot untuk pipa dengan panjang 30.48
 - Kapal kecepatan 9 knot untuk pipa dengan panjang 30.48
 - Kapal kecepatan 7 knot untuk pipa dengan panjang 40.64
 - Kapal kecepatan 8 knot untuk pipa dengan panjang 40.64
 - Kapal kecepatan 9 knot untuk pipa dengan panjang 40.64

5.2 SARAN

Topik penelitian tugas akhir dapat dikembangkan dan dilanjutkan lagi untuk penelitian berikutnya. Berikut adalah beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk dianalisis dalam penelitian berikutnya :

1. Melakukan analisis dengan memvariasikan berat jangkar.
2. Melakukan analisa kelelahan pada pipa yang terkena jangkar.

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN TAHANAN TOTAL UNTUK KECEPATAN 7 KNOT

Principal Dimension:

Lpp	: 47.70 m
Lwl	: 48.89 m
B	: 11.58 m
H	: 4.57 m
T	: 3.70 m
Cb	: 0.668
Cp	: 0.755
Cm	: 0.884
Vs	: 7 knot = 3.6 m/s^2

✓ Volume Displasmen (▼)

$$\nabla = C_b \times L_{wl} \times B \times T$$

$$\nabla = 0.668 \times 48.89 \times 11.58 \times 3.70$$

$$\nabla = 1399.36 \text{ m}^3$$

✓ Berat Displasmen (▲)

$$\blacktriangle = \nabla \times \rho \text{ air laut}$$

$$\blacktriangle = 1399.36 \times 1.025$$

$$\blacktriangle = 1434.34 \text{ ton}$$

$$\blacktriangle = 14066.095 \text{ kN}$$

✓ Wetted Surface Area / Luasan Permukaan Basah (S)

$$S = 1.025 \times L_{pp} (C_b \times B \times 1.7T)$$

$$S = 1.025 \times 47.70 (0.668 \times 11.58 \times 1.7 \times 3.70)$$

$$S = 48.89 (48.66)$$

$$S = 2378.91 \text{ m}^2$$

1. METODE GULDHAMMER DAN HARVALD

a) Menghitung Froude Number (Fn)

Angka Froude adalah suatu bilangan yang berhubungan dengan kecepatan kapal, yang mana semakin besar angka froude maka semakin besar pula kecepatan kapal tersebut.

Dimana : $v = V_s = 7 \text{ knot} = 3.6 \text{ m/s}^2$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{7.2}{\sqrt{9.81 \times 48.89}} = 0.165$$

b) Menghitung Reynold number

Dimana : ν = koefisien viskositas kinematis = $1,188 \cdot 10^{-6}$

$$R_n = \frac{VL}{\nu}$$

$$Rn = \frac{3.6 \times 48.89}{1.188 \cdot 10^{-6}}$$

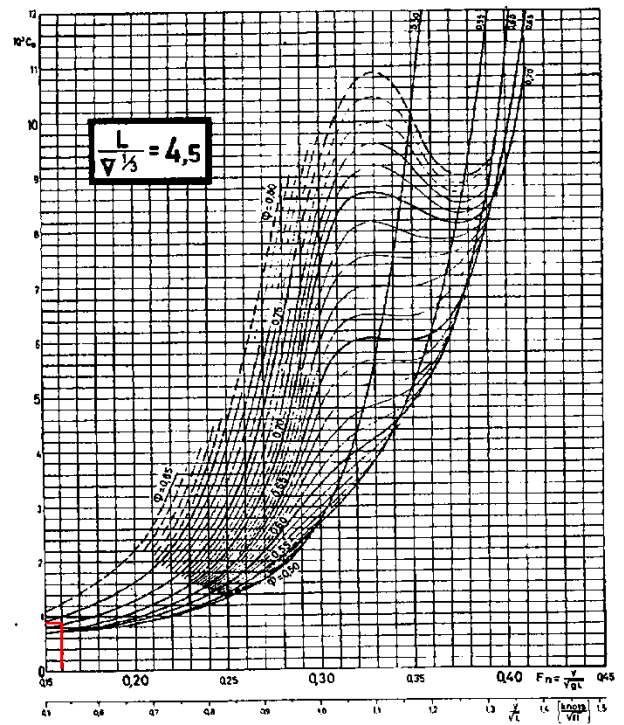
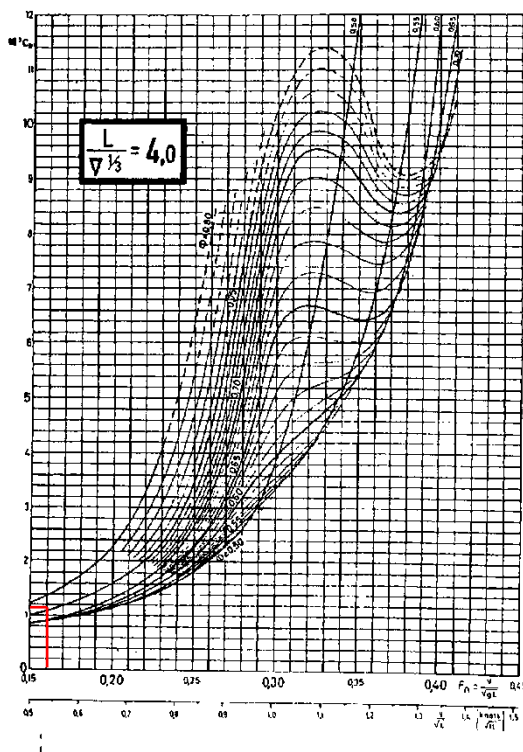
$$Rn = 1.482 \times 10^8$$

c) Menghitung $L / \nabla^{1/3}$

$$\frac{L}{\nabla^{1/3}} = \frac{48.89}{1399.29^{1/3}} = 4.371$$

Hasil berada di antara nilai 4.0 sampai 4.5 jadi yang menjadi patokan adalah kedua grafik ini.

Dimana : $F_n = 0.16$ dan $C_p = 0.755$



Dapat kita peroleh nilai $10^3 C_r = 1.18$ dan $10^3 C_r = 0.85$

$$\frac{(10^3 C_{r(4.371)} - 1.18)}{0.85 - 1.18} = \frac{(4.371 - 4.0)}{(4.5 - 4.0)}$$

$$\frac{(10^3 Cr_{(4.371)} - 1.18)}{-0.33} = \frac{0.371}{0.5}$$

$$10^3 Cr_{(4.371)} = [(0.742 \times -0.33) + 1.18]$$

$$10^3 Cr_{(4.371)} = -0.245 + 1.02$$

$$Cr_{(4.371)} = 0.7751 \times 10^{-3}$$

d) Koreksi B/T

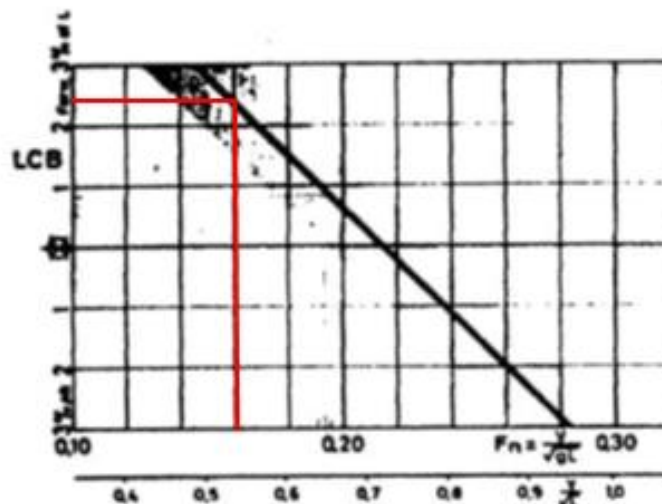
$$B/T = \frac{11.58}{3.7} = 3.1297$$

Karena kapal memiliki nilai B/T di bawah nilai standar dari B/T Guldhammer dan Harvald yaitu 2.5 maka harga Cr harus dikoreksi dengan menggunakan persamaan koreksi dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Koreksi } B/T &= 0.16 \left(\frac{B}{T} - 2.5 \right) = 0.16 \left(\frac{11.58}{3.7} - 2.5 \right) \\ &= 0.16(3.1297 - 2.5) \\ &= 0.16 \times (0.6297) = 0.100752 \end{aligned}$$

Dari hasil koreksi B/T maka di dapat nilai Cr dari :

$$\begin{aligned} 10^3 C_r &= 10^3 C_{r(B/T=2.5)} + 0.16 \left(\frac{B}{T} - 2.5 \right) \\ 10^3 Cr &= 0.7751 \times 10^{-3} + (0.100752) \\ Cr &= 101.53 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

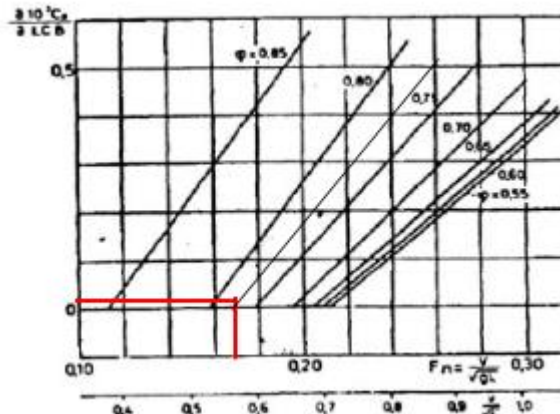


e) Koreksi LCB

LCB standar = 2.4% (didapat dari diagram grafik Guldhammer dan Harvald)

LCB kapal = 0.403%

$$\Delta LCB = 0.403 - (2.4) = -1.997 \text{ (LCB dalam \%)}$$



$$\frac{\partial 10^3 C_r}{\partial LCB} = 0,02$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi LCB} &= \frac{\partial 10^3 C_r}{\partial LCB} \cdot |\Delta LCB| \\ &= 0.02 \times -1.997 = -0,0399 \end{aligned}$$

f) Menghitung Coefisien Tahanan Gesek (Cf) dengan rumus ITTC 1957

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$$

$$C_f = \frac{0.075}{(\log 1.482 \times 10^8 - 2)^2} = 1.9696 \times 10^{-3}$$

g) Menghitung Tahanan Tambahan

L	≤ 100 m	10 ³ C _A = 0,4
	= 150 m	= 0,2
	= 200 m	= 0
	= 250 m	= -0,2
	≥ 300 m	= -0,3

Untuk L kapal 47.7 m maka menggunakan L ≤ 100 m yaitu 10³ C_A = 0.4

h) Untuk tahanan Udara = 10³ C_{AA} = 0.07

i) **Untuk Tahanan Kemudi** $= 10^3 C_{AS} = 0.04$

j) **Menghitung koefisien Tahanan total**

$$C_t = C_r + C_f + C_A + C_{AA} + C_{AS}$$

$$C_t = 61.63 \times 10^{-3} + 1.9696 \times 10^{-3} + 0.4 \times 10^{-3} + 0.07 \times 10^{-3} + 0.04 \times 10^{-3}$$

$$C_t = 64.1096 \times 10^{-3}$$

k) **Menghitung Tahanan Total Kapal dengan rumus**

$$R_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_t \cdot S \cdot V^2$$

Maka di dapatkan

$$R_t = \frac{1}{2} \times 1025 \times 64.1096 \times 10^{-3} \times 2378.91 \times 3.6^2$$

$$R_t = 1012977.853 \text{ newton} = 1012.978 \text{ kN}$$

Dari R_t diatas masih belum ditambah dengan sea margin dari arah pelayaran kapal yaitu sebesar 15% daerah pacific dari R_t yaitu $1012.978 \times 15\% = 151.95 \text{ kN}$

Jadi dengan menggunakan metode Guldhammer & Harvald didapatkan Tahanan Total Kapal yaitu sebesar $1012.978 + 151.95 = 1164.92 \text{ kN}$

Menghitung besar tarikan jangkar dengan pengaruh kecepatan kapal:

$$T = \frac{m \cdot V}{F_{total}}$$

$$T = \frac{\Delta \cdot V}{R_{total} + H_m}$$

$$T = \frac{14066.09 \cdot 3,6}{1164.92 + 0.0676}$$

$$T = \frac{50637.92}{1164.99}$$

$$T = 43.47 \text{ detik}$$

Keterangan :

Δ = Displacement, ton

V = Kecepatan awal kapal , m/s²

T = Waktu yang dibutuhkan kapal untuk berhenti, detik

Setelah diketahui T dihitung besar gaya kapal seperti di bawah ini:

$$F = \Delta \cdot -a$$

$$F = 14066.095 \cdot -a$$

Dimana nilai a dapat dihitung dengan

$$a = \frac{V_i}{T}$$

$$a = \frac{3.6}{43.47}$$

$$a = 0.0828 \text{ m/s}^2$$

Maka,

$$F = 14066.095 \cdot 0.0828$$

$$F = 1164.89 \text{ kN}$$

Keterangan :

F = Gaya Kapal yang mengenai Pipa

- a = Perlambatan Kapal

PERHITUNGAN TAHANAN TOTAL UNTUK KECEPATAN 8 KNOT

Principal Dimension:

Lpp	: 47.70 m
Lwl	: 48.89 m
B	: 11.58 m
H	: 4.57 m
T	: 3.70 m
Cb	: 0.668
Cp	: 0.755
Cm	: 0.884
Vs	: 8 knot = 4.11 m/s^2

✓ Volume Displasmen (▼)

$$\nabla = C_b \times L_{wl} \times B \times T$$

$$\nabla = 0.668 \times 48.89 \times 11.58 \times 3.70$$

$$\nabla = 1399.36 \text{ m}^3$$

✓ Berat Displasmen (▲)

$$\blacktriangle = \nabla \times \rho \text{ air laut}$$

$$\blacktriangle = 1399.36 \times 1.025$$

$$\blacktriangle = 1434.34 \text{ ton}$$

$$\blacktriangle = 14066.095 \text{ kN}$$

✓ Wetted Surface Area / Luasan Permukaan Basah (S)

$$S = 1.025 \times L_{pp} (C_b \times B \times 1.7T)$$

$$S = 1.025 \times 47.70 (0.668 \times 11.58 \times 1.7 \times 3.70)$$

$$S = 48.89 (48.66)$$

$$S = 2378.91 \text{ m}^2$$

2. METODE GULDHAMMER DAN HARVALD

a) Menghitung Froude Number (Fn)

Angka Froude adalah suatu bilangan yang berhubungan dengan kecepatan kapal, yang mana semakin besar angka froude maka semakin besar pula kecepatan kapal tersebut.

$$\text{Dimana : } v = V_s = 8 \text{ knot} = 4.11 \text{ m/s}^2$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{4.11}{\sqrt{9.81 \times 48.89}} = 0.187$$

b) Menghitung Reynold number

Dimana : ν = koefisien viskositas kinematis = $1,188 \cdot 10^{-6}$

$$R_n = \frac{VL}{\nu}$$

$$R_n = \frac{4.11 \times 48.89}{1.188 \cdot 10^{-6}}$$

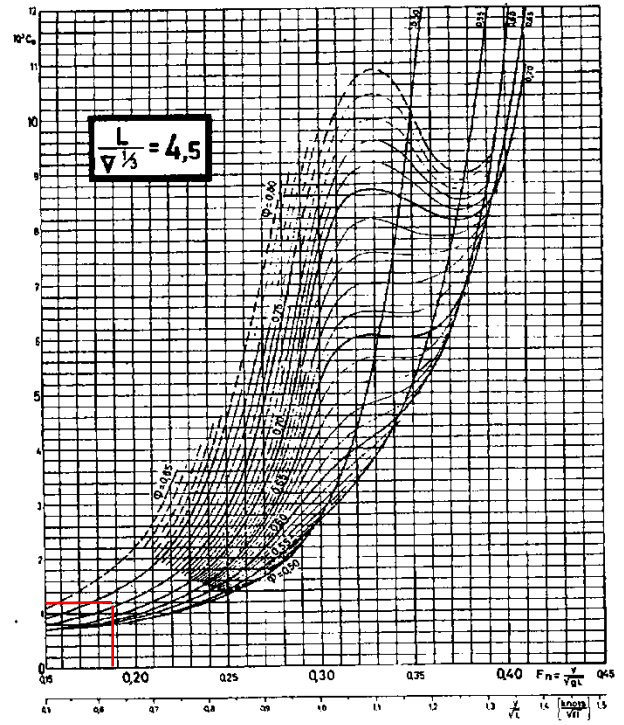
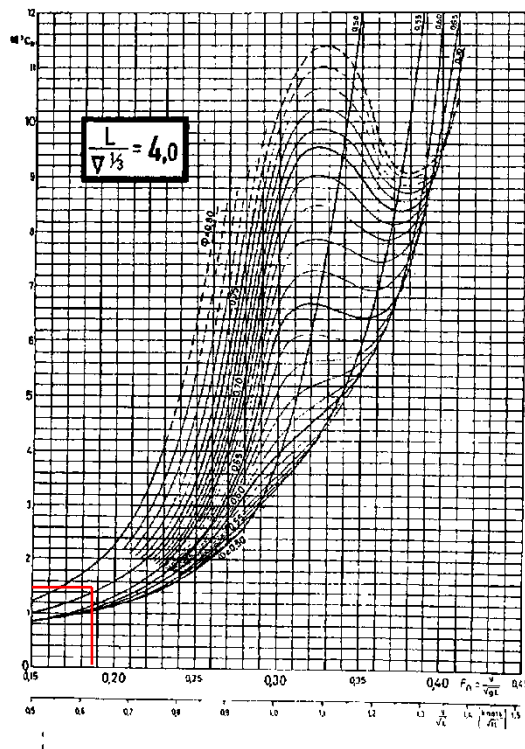
$$R_n = 1.693 \times 10^8$$

c) Menghitung $L / \nabla^{1/3}$

$$\frac{L}{\nabla^{1/3}} = \frac{48.89}{1399.29^{1/3}} = 4.371$$

Hasil berada di antara nilai 4.0 sampai 4.5 jadi yang menjadi patokan adalah kedua grafik ini.

Dimana : $F_n = 0.16$ dan $C_p = 0.755$



Dapat kita peroleh nilai $10^3 C_R = 1.42$ dan $10^3 C_R = 1.11$

$$\frac{(10^3 Cr_{(4.371)} - 1.42)}{1.11 - 1.42} = \frac{(4.371 - 4.0)}{(4.5 - 4.0)}$$

$$\frac{(10^3 Cr_{(4.371)} - 1.42)}{-0.31} = \frac{0.371}{0.5}$$

$$10^3 Cr_{(4.371)} = [(0.742 \times -0.31) + 1.42]$$

$$10^3 Cr_{(4.371)} = -0.23 + 1.42$$

$$Cr_{(4.371)} = 1.19 \times 10^{-3}$$

d) Koreksi B/T

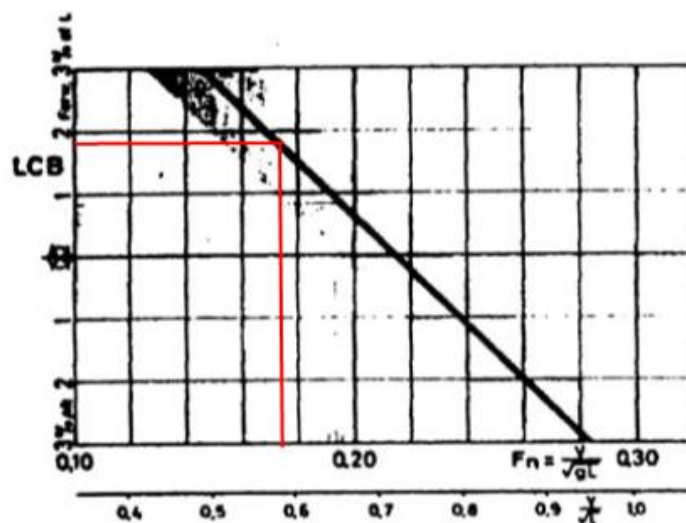
$$B/T = \frac{11.58}{3.7} = 3.1297$$

Karena kapal memiliki nilai B/T di bawah nilai standar dari B/T Guldhammer dan Harvald yaitu 2.5 maka harga Cr harus dikoreksi dengan menggunakan persamaan koreksi dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Koreksi } B/T &= 0.16 \left(\frac{B}{T} - 2.5 \right) = 0.16 \left(\frac{11.58}{3.7} - 2.5 \right) \\ &= 0.16(3.1297 - 2.5) \\ &= 0.16 \times (0.6297) = 0.100752 \end{aligned}$$

Dari hasil koreksi B/T maka di dapat nilai Cr dari :

$$\begin{aligned} 10^3 C_r &= 10^3 C_{r(B/T=2.5)} + 0.16 \left(\frac{B}{T} - 2.5 \right) \\ 10^3 Cr &= 1.19 \times 10^{-3} + (0.100752) \\ Cr &= 101.94 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

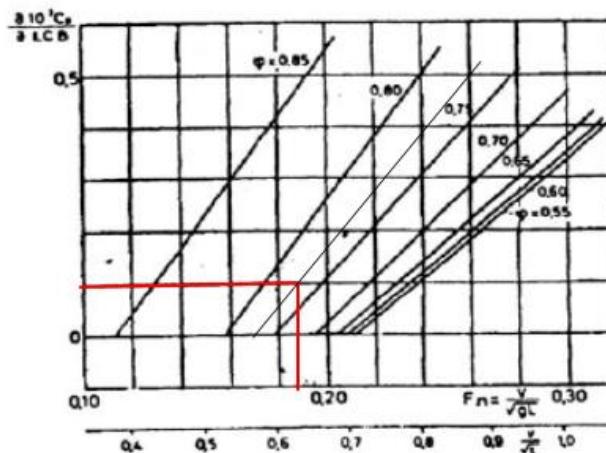


e) Koreksi LCB

LCB standar = 1.8% (didapat dari diagram grafik Guldhammer dan Harvald)

LCB kapal = 0.403%

$$\Delta LCB = 0.403 - (1.8) = -1.397 \text{ (LCB dalam \%)}$$



$$\frac{\partial 10^3 Cr}{\partial LCB} = 0,01$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi LCB} &= \frac{\partial 10^3 Cr}{\partial LCB} \cdot |\Delta LCB| \\ &= 0.01 \times -1.397 = -0.01397 \end{aligned}$$

f) Menghitung Coefisien Tahanan Gesek (Cf) dengan rumus ITTC 1957

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$$

$$C_f = \frac{0.075}{(\log 1.693 \times 10^8 - 2)^2} = 1.108 \times 10^{-3}$$

g) Menghitung Tahanan Tambahan

L	≤ 100 m	10 ³ C _A = 0,4
	= 150 m	= 0,2
	= 200 m	= 0
	= 250 m	= -0,2
	≥ 300 m	= -0,3

Untuk L kapal 47.7 m maka menggunakan L ≤ 100 m yaitu C_A = 0.4 × 10⁻³

h) **Untuk tahanan Udara** $= C_{AA} = 0.07 \times 10^{-3}$

i) **Untuk Tahanan Kemudi** $= C_{AS} = 0.04 \times 10^{-3}$

j) **Menghitung koefisien Tahanan total**

$$Ct = Cr + Cf + C_A + C_{AA} + C_{AS}$$

$$Ct = 87.97 \times 10^{-3} + 1.108 \times 10^{-3} + 0.4 \times 10^{-3} + 0.07 \times 10^{-3} + 0.04 \times 10^{-3}$$

$$Ct = 89.588 \times 10^{-3}$$

k) **Menghitung Tahanan Total Kapal dengan rumus**

$$Rt = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Ct \cdot S \cdot V^2$$

Maka di dapatkan

$$Rt = \frac{1}{2} \times 1025 \times 89.588 \times 10^{-3} \times 2378.91 \times 4.11^2$$

$$Rt = 1845038.923 \text{ newton} = 1845.039 \text{ kN}$$

Dari R_t diatas masih belum ditambah dengan sea margin dari arah pelayaran kapal yaitu sebesar 15% daerah pacific dari R_t yaitu $1845.039 \times 15\% = 276.756 \text{ kN}$

Jadi dengan menggunakan metode Guldhammer & Harvald didapatkan Tahanan Total Kapal yaitu sebesar $1845.039 + 276.756 = 2121.795 \text{ kN}$

Menghitung besar tarikan jangkar dengan pengaruh kecepatan kapal:

$$T = \frac{m \cdot V}{F_{total}}$$

$$T = \frac{\Delta \cdot V}{R_{total} + H_m}$$

$$T = \frac{14066.09 \cdot 4.11}{2121.795 + 0.0676}$$

$$T = \frac{57811.63}{2121.8626}$$

$$T = 27.246 \text{ detik}$$

Keterangan :

Δ = Displacement, ton

V = Kecepatan awal kapal, m/s²

T = Waktu yang dibutuhkan kapal untuk berhenti, detik

Setelah diketahui T dihitung besar gaya kapal seperti di bawah ini:

$$F = \Delta \cdot -a$$

$$F = 14066.095 \cdot -a$$

Dimana nilai a dapat dihitung dengan

$$a = \frac{V_i}{T}$$

$$a = \frac{4.11}{27.246}$$

$$a = 0.1508 \text{ m/s}^2$$

Maka,

$$F = 14066.095 \cdot 0.1508$$

$$F = 2121.863 \text{ kN}$$

Keterangan :

F = Gaya Kapal yang mengenai Pipa

$-a$ = Perlambatan Kapal

PERHITUNGAN TAHANAN TOTAL UNTUK KECEPATAN 9 KNOT

Principal Dimension:

Lpp	: 47.70 m
Lwl	: 48.89 m
B	: 11.58 m
H	: 4.57 m
T	: 3.70 m
Cb	: 0.668
Cp	: 0.755
Cm	: 0.884
Vs	: 9 knot = 4.63 m/s^2

- ✓ Volume Displasmen (▼)
 $\nabla = Cb \times Lwl \times B \times T$
 $\nabla = 0.668 \times 48.89 \times 11.58 \times 3.70$
 $\nabla = 1399.36 \text{ m}^3$
- ✓ Berat Displasmen (▲)
 $\blacktriangle = \nabla \times \rho \text{ air laut}$
 $\blacktriangle = 1399.36 \times 1.025$
 $\blacktriangle = 1434.34 \text{ ton}$
 $\blacktriangle = 14066.095 \text{ kN}$
- ✓ Wetted Surface Area / Luasan Permukaan Basah (S)
 $S = 1.025 \times Lpp (Cb \times B \times 1.7T)$
 $S = 1.025 \times 47.70 (0.668 \times 11.58 \times 1.7 \times 3.70)$
 $S = 48.89 (48.66)$
 $S = 2378.91 \text{ m}^2$

3. METODE GULDHAMMER DAN HARVALD

a) Menghitung Froude Number (Fn)

Angka Froude adalah suatu bilangan yang berhubungan dengan kecepatan kapal, yang mana semakin besar angka froude maka semakin besar pula kecepatan kapal tersebut.

Dimana : $v = Vs = 9 \text{ knot} = 4.63 \text{ m/s}^2$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{4.63}{\sqrt{9.81 \times 48.89}} = 0.21$$

b) Menghitung Reynold number

Dimana : ν = koefisien viskositas kinematis = $1,188 \cdot 10^{-6}$

$$R_n = \frac{VL}{\nu}$$

$$Rn = \frac{4.63 \times 48.89}{1.188 \cdot 10^{-6}}$$

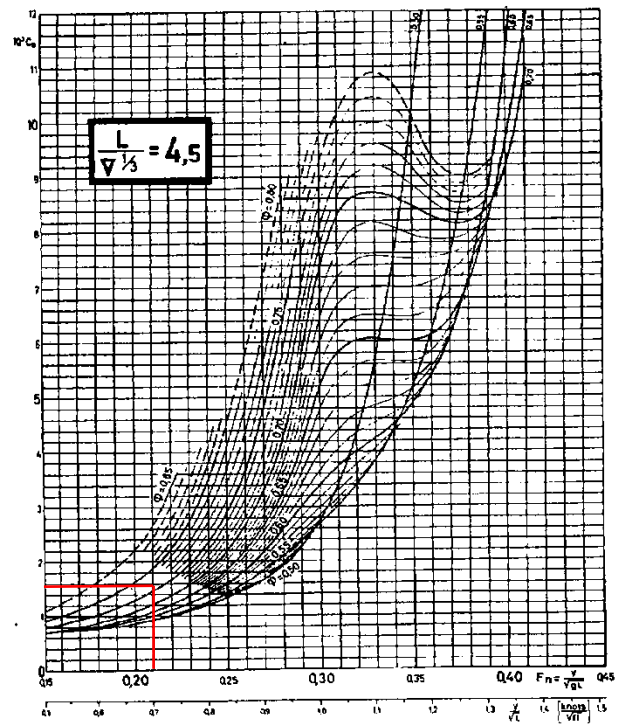
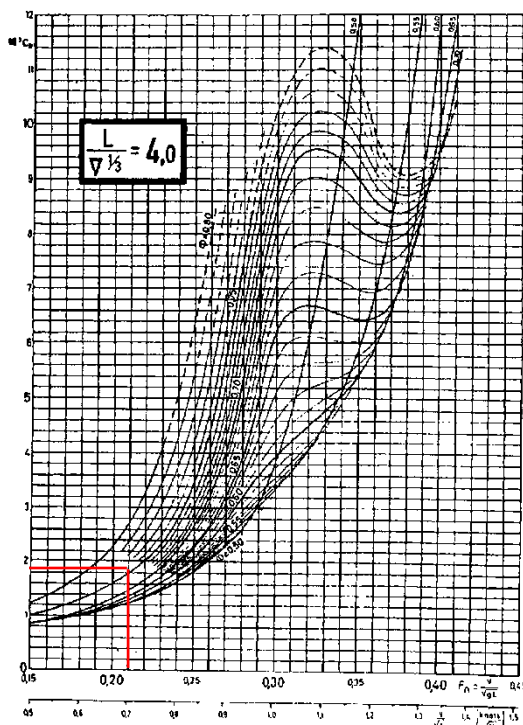
$$Rn = 1.905 \times 10^8$$

c) Menghitung $L / \nabla^{1/3}$

$$\frac{L}{\nabla^{1/3}} = \frac{48.89}{1399.29^{1/3}} = 4.371$$

Hasil berada di antara nilai 4.0 sampai 4.5 jadi yang menjadi patokan adalah kedua grafik ini.

Dimana : $F_n = 0.21$ dan $C_p = 0.755$



Dapat kita peroleh nilai $10^3 C_R = 1.83$ dan

$10^3 C_R = 1.59$

$$\frac{(10^3 Cr_{(4.371)} - 1.83)}{1.59 - 1.83} = \frac{(4.371 - 4.0)}{(4.5 - 4.0)}$$

$$\frac{(10^3 Cr_{(4.371)} - 1.83)}{-0.24} = \frac{0.371}{0.5}$$

$$10^3 Cr_{(4.371)} = [(0.742 \times -0.24) + 1.83]$$

$$10^3 Cr_{(4.371)} = -0.178 + 1.83$$

$$Cr_{(4.371)} = 1.65 \times 10^{-3}$$

d) Koreksi B/T

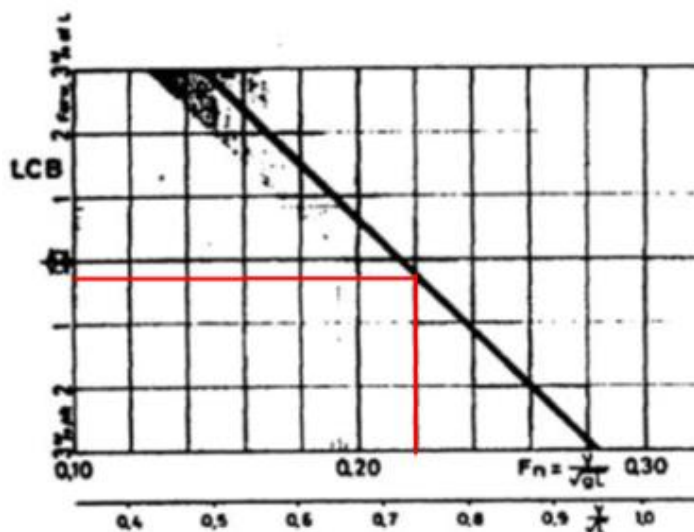
$$B/T = \frac{11.58}{3.7} = 3.1297$$

Karena kapal memiliki nilai B/T di bawah nilai standar dari B/T Guldhammer dan Harvald yaitu 2.5 maka harga Cr harus dikoreksi dengan menggunakan persamaan koreksi dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Koreksi } B/T &= 0.16 \left(\frac{B}{T} - 2.5 \right) = 0.16 \left(\frac{11.58}{3.7} - 2.5 \right) \\ &= 0.16(3.1297 - 2.5) \\ &= 0.16 \times (0.6297) = 0.100752 \end{aligned}$$

Dari hasil koreksi B/T maka di dapat nilai Cr dari :

$$\begin{aligned} 10^3 C_r &= 10^3 C_{r(B/T=2.5)} + 0.16 \left(\frac{B}{T} - 2.5 \right) \\ 10^3 Cr &= 1.65 \times 10^{-3} + (0.100752) \\ Cr &= 102.402 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

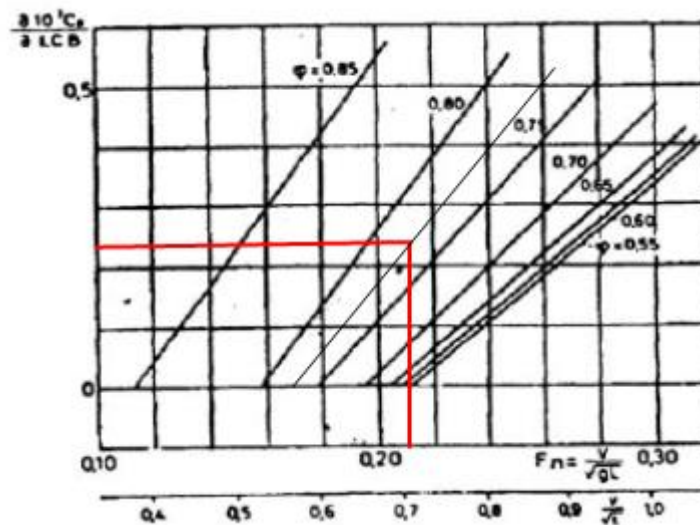


e) Koreksi LCB

LCB standar = - 0.35% (didapat dari diagram grafik Guldhammer dan Harvald)

LCB kapal = 0.403%

$$\Delta LCB = 0.403 - (-0.35) = 0.753 \text{ (LCB dalam \%)}$$



$$\frac{\partial 10^3 C_r}{\partial LCB} = 0.24$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi LCB} &= \frac{\partial 10^3 C_r}{\partial LCB} \cdot |\Delta LCB| \\ &= 0.24 \times 0.753 = -0.18072 \end{aligned}$$

f) Menghitung Coefisien Tahanan Gesek (Cf) dengan rumus ITTC 1957

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$$

$$C_f = \frac{0.075}{(\log 1.905 \times 10^8 - 2)^2} = 1.094 \times 10^{-3}$$

g) Menghitung Tahanan Tambahan

L	≤ 100 m,	10 ³ C _A = 0,4
	= 150 m	= 0,2
	= 200 m	= 0
	= 250 m	= -0,2
	≥ 300 m	= -0,3

Untuk L kapal 47.7 m maka menggunakan L ≤ 100 m yaitu C_A = 0.4 × 10⁻³

h) **Untuk tahanan Udara** $= C_{AA} = 0.07 \times 10^{-3}$

i) **Untuk Tahanan Kemudi** $= C_{AS} = 0.04 \times 10^{-3}$

j) **Menghitung koefisien Tahanan total**

$$Ct = Cr + Cf + C_A + C_{AA} + C_{AS}$$

$$Ct = 89.682 \times 10^{-3} + 1.094 \times 10^{-3} + 0.4 \times 10^{-3} + 0.07 \times 10^{-3} + 0.04 \times 10^{-3}$$

$$Ct = 91.286 \times 10^{-3}$$

k) **Menghitung Tahanan Total Kapal dengan rumus**

$$Rt = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Ct \cdot S \cdot V^2$$

Maka di dapatkan

$$Rt = \frac{1}{2} \times 1025 \times 91.286 \times 10^{-3} \times 2378.91 \times 4.26^2$$

$$Rt = 2019739.027 \text{ newton} = 2019.739 \text{ kN}$$

Dari Rt diatas masih belum ditambah dengan sea margin dari arah pelayaran kapal yaitu sebesar 15% daerah pacific dari Rt yaitu $2019.739 \times 15\% = 302.96 \text{ kN}$

Jadi dengan menggunakan metode Guldhammer & Harvald didapatkan Tahanan Total Kapal yaitu sebesar $2019.739 + 302.96 = 2322.699 \text{ kN}$

Menghitung besar tarikan jangkar dengan pengaruh kecepatan kapal:

$$T = \frac{m \cdot V}{F_{total}}$$

$$T = \frac{\Delta \cdot V}{R_{total} + H_m}$$

$$T = \frac{14066.09 \cdot 4.26}{2322.699 + 0.0676}$$

$$T = \frac{59921.54}{2322.767}$$

$$T = 25.79 \text{ detik}$$

Keterangan :

Δ = Displacement, ton

V = Kecepatan awal kapal, m/s²

T = Waktu yang dibutuhkan kapal untuk berhenti, detik

Setelah diketahui T dihitung besar gaya kapal seperti di bawah ini:

$$F = \Delta \cdot -a$$

$$F = 14066.095 \cdot -a$$

Dimana nilai a dapat dihitung dengan

$$a = \frac{V_i}{T}$$

$$a = \frac{4.26}{25.79}$$

$$a = 0.1652 \text{ m/s}^2$$

Maka,

$$F = 14066.095 \cdot 0.1652$$

$$F = 2323.7189 \text{ kN}$$

Keterangan :

F = Gaya Kapal yang mengenai Pipa

$-a$ = Perlambatan Kapal

LAMPIRAN B

PEMODELAN *EXISTING CONDITION* PIPA PADA ANSYS

Untuk mencari nilai *equivalent stress* dari pemodelan ANSYS, juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - \sigma_h \sigma_l}$$

Dengan :

σ_h adalah besar *hoop stress* yang dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\sigma_h = (P_i - P_e) \frac{D}{2t}$$

$$\sigma_h = (22.048 - 6.2477) \frac{8.65}{2(0.813)}$$

$$\sigma_h = (15.8003) \frac{8.65}{1.626}$$

$$\sigma_h = 84.054 \text{ MPa}$$

σ_l adalah besar *longitudinal stress* yang dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\sigma_l = (P_i - P_e) \frac{D}{4t}$$

$$\sigma_l = (22.048 - 6.2477) \frac{8.65}{4(0.813)}$$

$$\sigma_l = (15.8003) \frac{8.65}{3.252}$$

$$\sigma_l = 42.027 \text{ MPa}$$

Dengan diketahui nilai *hoop stress* dan *longitudinal stress* maka dapat dihitung nilai *equivalent stress* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - \sigma_h \sigma_l}$$

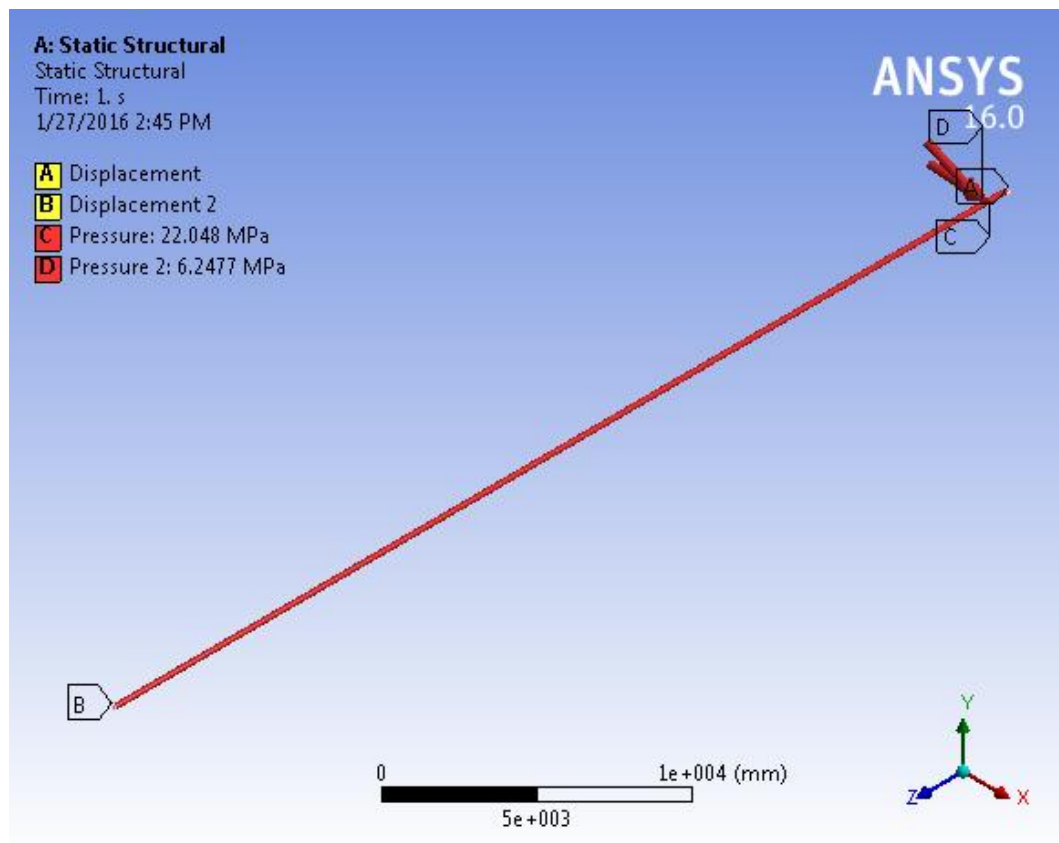
$$\sigma_e = \sqrt{84.054^2 + 42.027^2 - 84.054 \times 42.027}$$

$$\sigma_e = \sqrt{7065.0749 + 1766.289 - 3532.537}$$

$$\sigma_e = \sqrt{5298.827}$$

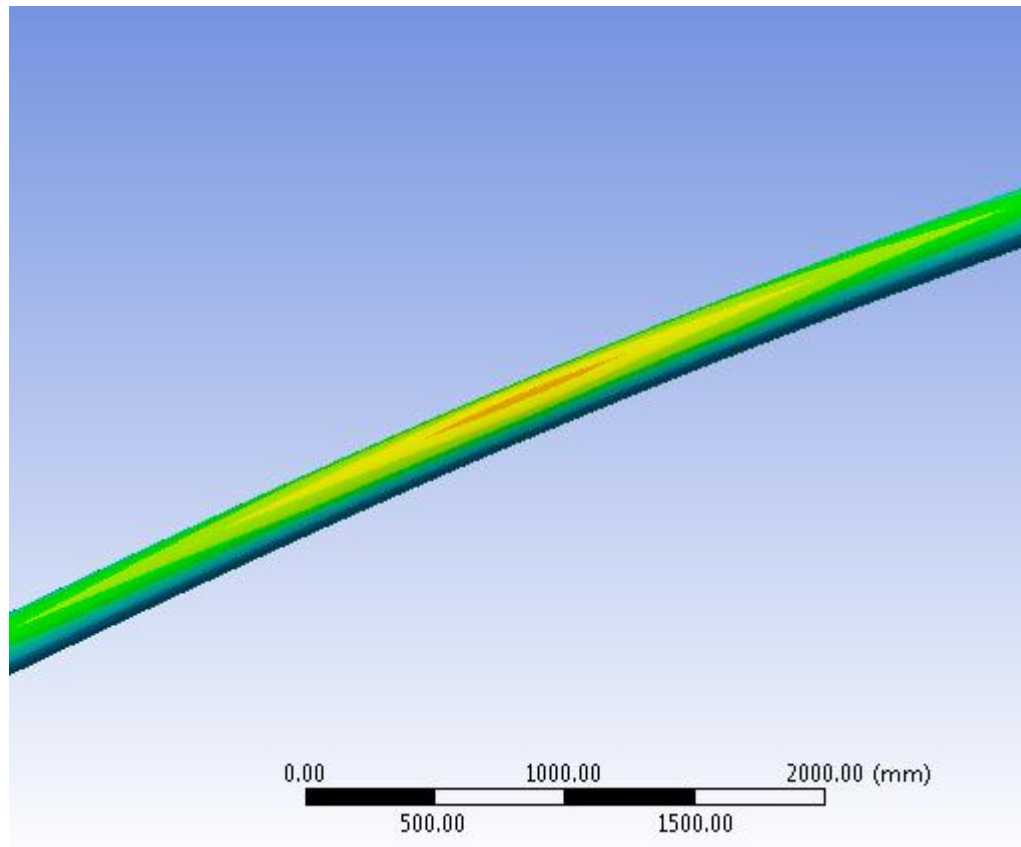
$$\sigma_e = 72.793 \text{ MPa}$$

Pemodelan *software* ANSYS untuk kondisi pertama, yaitu pemodelan sebelum terkena pengaruh jangkar adalah sebagai berikut:



Untuk gaya yang dimasukkan pada pemodelan adalah tekanan internal dan tekanan eksternal dengan *pinned boundary condition*. Tekanan internal yang bekerja pada pipa sebesar 22.048 MPa, sedangkan tekanan eksternal sebesar 6.2477 MPa.

Berikut adalah gambar hasil pemodelan pada saat kondisi pipa sebelum terkena tarikan jangkar, dengan hasil *equivalent stress* tertinggi adalah 198.671 MPa.



LAMPIRAN C

PIPA DENGAN PANJANG 20.32 METER, 7 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	149.5379	11.634	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	10000
Gagal	0
Pfail	0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.7686	340.5992	0.2396	141.3064	165.2328	1.0
2	0.9223	357.8094	0.2862	142.9691	179.0593	1.0
3	0.5012	322.2760	0.1812	138.9399	151.1084	1.0
4	0.5036	322.4235	0.1247	136.1383	154.0428	1.0
5	0.0799	286.9760	0.6461	153.8976	104.3809	1.0
6	0.4004	315.8775	0.4443	147.9073	136.3824	1.0
7	0.4777	320.8001	0.4232	147.2857	141.4344	1.0
8	0.7151	336.4440	0.2472	141.5876	161.2121	1.0
9	0.2820	307.7390	0.3683	145.6247	131.3404	1.0
10	0.8490	348.0639	0.5434	150.8074	162.4501	1.0
11	0.0722	285.6224	0.1306	136.4676	120.5925	1.0
12	0.7772	341.3180	0.1347	136.6912	170.4950	1.0
13	0.5835	327.4823	0.0921	134.0865	160.6476	1.0
14	0.1350	294.5570	0.0178	125.0929	140.0084	1.0
15	0.7000	335.3380	0.0478	130.1500	171.6543	1.0
16	0.5185	323.3631	0.3886	146.2468	144.7800	1.0
17	0.6951	334.9921	0.6154	152.9501	148.5428	1.0
18	0.5831	327.4578	0.1808	138.9240	155.7880	1.0
19	0.6728	333.4163	0.6922	155.3799	144.6948	1.0
20	0.4755	320.6595	0.1579	137.8671	150.7265	1.0
21	0.8210	345.2373	0.4811	148.9852	161.7284	1.0
22	0.8041	343.6590	0.4550	148.2224	161.0707	1.0
23	0.2936	308.5957	0.9853	174.8744	102.8617	1.0
24	0.4091	316.4413	0.0600	131.4499	153.3472	1.0
25	0.3002	309.0745	0.5524	151.0712	127.0958	1.0
26	0.5159	323.2020	0.1724	138.5477	152.3342	1.0
27	0.4649	319.9953	0.0316	127.9202	160.0755	1.0
28	0.7623	340.0860	0.6809	155.0086	151.0687	1.0
29	0.3878	315.0584	0.2405	141.3408	142.2117	1.0
30	0.6252	330.1972	0.4356	147.6509	149.5265	1.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
211	0.7954	342.8821	0.4355	147.6477	160.9462	1.0
212	0.7201	336.8125	0.7150	156.1474	146.9838	1.0
213	0.5741	326.8786	0.0466	130.0063	164.1844	1.0
214	0.0823	287.3667	0.8379	161.0078	97.6222	1.0
215	0.4478	318.9147	0.0777	133.0090	154.0143	1.0
216	0.2284	303.5512	0.1919	139.4039	133.7922	1.0
217	0.5362	324.4790	0.3287	144.3792	147.6519	1.0
218	0.6426	331.3607	0.3073	143.6803	154.5444	1.0
219	0.8400	347.1227	0.0521	130.6294	181.7810	1.0
220	0.6095	329.1641	0.0587	131.3174	164.9303	1.0
6001	0.2495	305.2594	0.5904	152.1980	122.5355	1.0
6002	0.8983	354.0803	0.2832	142.8687	175.8036	1.0
6003	0.2834	307.8491	0.8971	164.2602	112.8040	1.0
6004	0.5103	322.8487	0.1592	137.9311	152.6327	1.0
6005	0.1993	301.0493	0.6999	155.6355	115.3089	1.0
6006	0.4022	315.9952	0.3615	145.4133	138.9823	1.0
6007	0.6585	332.4342	0.6681	154.5962	144.5946	1.0
6008	0.0846	287.7403	0.3468	144.9537	114.0126	1.0
6009	0.8557	348.7919	0.4994	149.5199	164.3928	1.0
6010	0.0279	274.2574	0.1910	139.3655	107.4661	1.0
8831	0.5693	326.5767	0.2819	142.8234	151.0956	1.0
8832	0.9603	366.1452	0.1284	136.3428	193.1878	1.0
8833	0.2064	301.6754	0.8462	161.4076	110.1003	1.0
8834	0.9232	357.9628	0.6425	153.7856	168.3809	1.0
8835	0.5557	325.7105	0.3585	145.3197	147.8198	1.0
8836	0.1923	300.4096	0.4133	146.9886	123.3800	1.0
8837	0.8388	346.9945	0.2295	140.9239	171.3711	1.0
8838	0.3728	314.0671	0.2035	139.8905	142.7698	1.0
8839	0.4111	316.5667	0.3260	144.2901	140.6200	1.0
8840	0.3447	312.1847	0.9277	166.5080	114.4583	1.0
9996	0.8456	347.7070	0.4999	149.5343	163.4020	1.0
9997	0.6789	333.8467	0.6724	154.7326	145.7294	1.0
9998	0.1087	291.2843	0.1548	137.7181	124.4378	1.0
9999	0.9602	366.1247	0.9825	174.0673	155.4449	1.0
10000	0.1449	295.6683	0.3621	145.4313	120.6702	1.0

PIPA DENGAN PANJANG 20.32 METER, 8 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	254.1749	19.7748	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	8810
Gagal	1173
Pfail	0.1173

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.1164	292.3051	0.3824	248.2600	14.8146	1.0
2	0.8198	345.1164	0.8235	272.5439	38.0609	1.0
3	0.6976	335.1669	0.8327	273.2522	28.3980	1.0
4	0.9189	357.2251	0.3531	246.7227	74.7798	1.0
5	0.0403	278.4199	0.5552	256.9215	-6.3437	0.0
6	0.1692	298.2131	0.0928	227.9951	40.3967	1.0
7	0.4021	315.9873	0.7141	265.3584	19.0302	1.0
8	0.5925	328.0606	0.6427	261.4072	33.8473	1.0
9	0.9695	369.1474	0.2351	239.8956	92.3371	1.0
10	0.0927	289.0057	0.1786	235.9703	24.1348	1.0
11	0.1220	293.0062	0.7040	264.7715	-1.0659	0.0
12	0.6725	333.3955	0.7809	269.5072	30.5487	1.0
13	0.5471	325.1650	0.1343	232.3020	60.3465	1.0
14	0.9450	362.2555	0.2016	237.6427	88.3872	1.0
15	0.4628	319.8569	0.8150	271.9035	15.9677	1.0
41	0.8811	351.7843	0.5034	254.3438	62.2621	1.0
42	0.1757	298.8511	0.0988	228.7009	40.2651	1.0
43	0.3668	313.6689	0.8341	273.3679	8.9341	1.0
44	0.6410	331.2505	0.4933	253.8406	44.2849	1.0
45	0.1102	291.4950	0.6878	263.8558	-1.5103	0.0
46	0.7106	336.1127	0.4810	253.2326	49.2688	1.0
47	0.0660	284.4551	0.8544	275.0459	-19.0363	0.0
48	0.0994	290.0049	0.2512	240.9130	20.0914	1.0
49	0.2234	303.1334	0.3120	244.4835	28.3366	1.0
50	0.8255	345.6662	0.1196	230.9045	80.1951	1.0
61	0.0201	270.8096	0.6380	261.1572	-17.4285	0.0
62	0.6247	330.1624	0.9707	291.5697	5.5765	1.0
63	0.6009	328.6087	0.3331	245.6420	50.1058	1.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
130	0.0979	289.7809	0.9270	282.9193	-22.1165	0.0
131	0.2626	306.2746	0.6202	260.2272	15.4199	1.0
132	0.9108	355.9305	0.1042	229.2992	91.0383	1.0
133	0.5227	323.6269	0.8553	275.1264	16.1378	1.0
134	0.8073	343.9560	0.3694	247.5821	61.9783	1.0
135	0.8431	347.4397	0.5025	254.2986	58.3972	1.0
136	0.0531	281.7159	0.2232	239.1149	14.4294	1.0
137	0.2584	305.9520	0.9264	282.8439	-7.4871	0.0
138	0.5600	325.9824	0.5900	258.6749	34.7092	1.0
139	0.0548	282.1010	0.9341	283.9748	-30.0839	0.0
4365	0.0313	275.5285	0.4768	253.0245	-5.0488	0.0
4366	0.9207	357.5327	0.5366	255.9933	65.7862	1.0
4367	0.4745	320.5961	0.8457	274.3061	14.2304	1.0
4368	0.0500	280.9886	0.5260	255.4657	-2.5759	0.0
4369	0.9138	356.3990	0.1563	234.2037	86.5554	1.0
4370	0.6345	330.8153	0.1021	229.0641	68.6697	1.0
4371	0.1009	290.2089	0.7223	265.8387	-4.6507	0.0
4372	0.0955	289.4367	0.8742	276.8509	-16.3579	0.0
4373	0.5155	323.1744	0.4069	249.5161	41.3408	1.0
4374	0.8131	344.4859	0.5832	258.3319	51.7055	1.0
4375	0.5220	323.5819	0.3881	248.5549	42.6689	1.0
7401	0.2330	303.9296	0.7319	266.4045	7.1321	1.0
7402	0.0554	282.2472	0.6932	264.1617	-10.1393	0.0
7403	0.9988	398.2624	0.6045	259.4169	99.0193	1.0
7404	0.6640	332.8089	0.9828	296.0134	3.5146	1.0
7405	0.7029	335.5479	0.3242	245.1574	56.8358	1.0
7406	0.1366	294.7388	0.4752	252.9432	12.3218	1.0
7407	0.0268	273.8422	0.8342	273.3727	-26.9147	0.0
7408	0.6261	330.2556	0.5154	254.9366	42.2934	1.0
7409	0.6671	333.0271	0.3875	248.5214	51.2030	1.0
7410	0.5283	323.9819	0.8419	273.9916	17.5922	1.0
7411	0.1725	298.5364	0.8535	274.9656	-6.2828	0.0
9988	0.1968	300.8184	0.9112	280.8397	-10.1031	0.0
9989	0.6066	328.9760	0.1489	233.5820	62.4964	1.0
9990	0.1162	292.2708	0.6000	259.1852	3.8585	1.0

PIPA DENGAN PANJANG 20.32 METER, 9 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	276.3248	21.498	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	6626
Gagal	3294
Pfail	0.3294

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.6569	332.3250	0.3468	267.8541	31.2384	1.0
2	0.5780	327.1308	0.5188	277.3365	17.0811	1.0
3	0.7225	336.9897	0.9650	315.2908	-12.0000	0.0
4	0.9129	356.2545	0.9991	343.6523	-23.0232	0.0
5	0.6912	334.7100	0.9742	318.1627	-16.9237	0.0
6	0.0272	274.0039	0.7731	292.4257	-45.8222	0.0
7	0.6812	334.0060	0.0113	227.2877	73.3178	1.0
8	0.0534	281.7930	0.0605	242.9972	10.6165	1.0
9	0.6743	333.5202	0.9215	306.7544	-6.5862	0.0
10	0.9253	358.3242	0.0500	240.9682	81.5236	1.0
3001	0.9378	360.7126	0.3749	269.4682	55.1731	1.0
3002	0.9477	362.8734	0.9038	304.3465	22.2396	1.0
3003	0.2812	307.6866	0.8565	299.2149	-22.2969	0.0
3004	0.9980	394.4974	0.1133	250.3335	104.7141	1.0
3005	0.6108	329.2544	0.2561	262.2330	34.0959	1.0
3006	0.2606	306.1207	0.9971	335.6106	-60.1020	0.0
3007	0.8479	347.9532	0.7267	289.2851	23.8727	1.0
3008	0.3343	311.4733	0.6815	286.4723	-6.1463	0.0
3009	0.8521	348.4007	0.9310	308.2193	5.3413	1.0
3010	0.4565	319.4637	0.7264	289.2636	-1.7462	0.0
3011	0.2048	301.5391	0.5937	281.4189	-10.0337	0.0
3012	0.0420	278.8870	0.5121	276.9791	-25.9807	0.0
3013	0.0507	281.1446	0.6146	282.5888	-29.5586	0.0
3014	0.3769	314.3374	0.7605	291.5459	-8.6422	0.0
3015	0.3462	312.2872	0.1173	250.7751	30.2834	1.0
3016	0.6253	330.2067	0.9283	307.7867	-10.6007	0.0
3017	0.9433	361.8787	0.5037	276.5252	49.1656	1.0
3018	0.9508	363.6172	0.5317	278.0364	49.2191	1.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
5452	0.5021	322.3303	0.8709	300.6275	-10.5303	0.0
5453	0.1521	296.4488	0.3061	265.4265	1.3775	1.0
5454	0.6940	334.9142	0.7975	294.2230	7.1998	1.0
5455	0.6452	331.5315	0.6613	285.2670	13.1114	1.0
5456	0.3383	311.7497	0.5243	277.6334	2.9414	1.0
5457	0.3707	313.9275	0.5914	281.2958	1.2389	1.0
5458	0.1589	297.1639	0.9458	310.8407	-43.3932	0.0
5459	0.0898	288.5767	0.6270	283.2859	-23.5669	0.0
5460	0.0061	259.3959	0.2256	260.1254	-26.6691	0.0
6186	0.3838	314.7962	0.7368	289.9461	-6.6295	0.0
6187	0.7413	338.4245	0.1548	254.4839	50.0981	1.0
6188	0.9096	355.7436	0.7829	293.1338	27.0355	1.0
6189	0.4041	316.1188	0.1555	254.5432	29.9637	1.0
6190	0.2884	308.2178	0.3642	268.8616	8.5345	1.0
6191	0.4133	316.7102	0.8789	301.4620	-16.4228	0.0
6192	0.8174	344.8917	0.0515	241.2744	69.1281	1.0
6193	0.9469	362.6742	0.9157	305.9267	20.4801	1.0
6194	0.5821	327.3918	0.4445	273.3259	21.3267	1.0
6195	0.3917	315.3093	0.0473	240.3984	43.3800	1.0
6196	0.2045	301.5071	0.5200	277.4042	-6.0478	0.0
8521	0.2780	307.4473	0.8211	296.0936	-19.3910	0.0
8522	0.1199	292.7425	0.3997	270.8598	-7.3916	0.0
8523	0.5386	324.6259	0.1652	255.4048	36.7585	1.0
8524	0.1702	298.3045	0.0572	242.3838	26.0902	1.0
8525	0.7046	335.6748	0.3122	265.7976	36.3097	1.0
9991	0.2073	301.7575	0.1290	252.0062	19.5755	1.0
9992	0.3950	315.5246	0.9204	306.5878	-22.6156	0.0
9993	0.4730	320.5026	0.1772	256.4126	32.0398	1.0
9994	0.7628	340.1289	0.9385	309.4738	-3.3578	0.0
9995	0.1112	291.6286	0.7061	287.9754	-25.5096	0.0
9996	0.1159	292.2313	0.1024	249.0690	13.9392	1.0
9997	0.1313	294.1244	0.7546	291.1373	-26.4254	0.0
9998	0.4080	316.3673	0.8855	302.1866	-17.4560	0.0
9999	0.8693	350.3466	0.9906	326.7950	-11.4831	0.0
10000	0.4097	316.4785	0.2652	262.8341	21.9965	1.0

PIPA DENGAN PANJANG 30.48 METER, 7 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	208.8341	16.247	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	9985
Gagal	13
Pfail	0.0013

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.9643	367.3943	0.5465	210.7304	119.9245	1.0
2	0.6155	329.5585	0.7632	220.4772	76.1254	1.0
3	0.2167	302.5665	0.1742	193.5993	78.7106	1.0
4	0.7755	341.1737	0.9383	233.8672	73.1890	1.0
5	0.4186	317.0518	0.7386	219.2189	66.1277	1.0
6	0.1779	299.0588	0.9823	242.9985	26.1544	1.0
7	0.9276	358.7468	0.9829	243.2572	79.6150	1.0
8	0.4694	320.2729	0.0108	171.5051	116.7405	1.0
9	0.0412	278.6635	0.1338	190.8204	59.9768	1.0
10	0.3331	311.3917	0.9241	232.1164	48.1361	1.0
11	0.8205	345.1837	0.7478	219.6815	90.9838	1.0
12	0.0161	268.5478	0.1249	190.1392	51.5539	1.0
13	0.1773	298.9986	0.6662	215.8104	53.2884	1.0
14	0.9119	356.0977	0.3473	202.4557	118.0322	1.0
15	0.0870	288.1317	0.5879	212.4445	46.8741	1.0
16	0.5622	326.1233	0.4104	205.1548	88.3562	1.0
17	0.5603	326.0054	0.1185	189.6218	103.7830	1.0
18	0.5146	323.1173	0.8915	228.8951	61.9105	1.0
19	0.6826	334.0996	0.3221	201.3322	99.3574	1.0
20	0.3411	311.9409	0.0397	180.3350	100.4118	1.0
21	0.9043	354.9377	0.6474	214.9791	104.4648	1.0
22	0.2960	308.7665	0.5710	211.7414	66.1484	1.0
23	0.9153	356.6359	0.4089	205.0894	115.8830	1.0
24	0.5053	322.5332	0.6926	217.0109	73.2690	1.0
25	0.9345	360.0517	0.0067	168.6477	155.3988	1.0
26	0.7296	337.5263	0.0990	187.9164	115.8572	1.0
27	0.2360	304.1746	0.6293	214.1942	59.5629	1.0
28	0.6308	330.5725	0.4922	208.5164	88.9988	1.0
29	0.3584	313.1079	0.1136	189.2172	92.5798	1.0
30	0.9671	368.3078	0.8539	225.9457	105.5313	1.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
810	0.4020	315.9829	0.7876	221.7996	62.5850	1.0
811	0.0159	268.3734	0.1776	193.8110	47.7251	1.0
812	0.5117	322.9343	0.5897	212.5179	78.1230	1.0
813	0.9131	356.2779	0.7385	219.2102	101.4399	1.0
814	0.9300	359.1903	0.3297	201.6721	121.5992	1.0
815	0.0135	266.7731	0.9476	235.1872	4.9085	1.0
816	0.3197	310.4609	0.7588	220.2486	59.1662	1.0
817	0.0180	269.6542	0.8626	226.5781	16.1107	1.0
818	0.0195	270.4517	0.9914	247.5515	-4.1450	0.0
819	0.2106	302.0416	0.4587	207.1502	64.6873	1.0
820	0.6237	330.0993	0.3630	203.1391	93.9503	1.0
980	0.6874	334.4422	0.2758	199.1603	101.8377	1.0
981	0.5266	323.8698	0.7957	222.2614	69.2214	1.0
982	0.9277	358.7510	0.9166	231.2923	91.5836	1.0
983	0.8449	347.6258	0.5387	210.4124	102.4508	1.0
984	0.0144	267.4436	0.0079	169.6083	71.0909	1.0
985	0.0083	262.1490	0.9862	244.6377	-8.7035	0.0
4776	0.5384	324.6134	0.3903	204.3077	87.8444	1.0
4777	0.0184	269.8839	0.9825	243.0921	-0.1966	0.0
4778	0.4848	321.2430	0.1691	193.2740	95.8447	1.0
4779	0.3531	312.7545	0.8375	224.8255	56.6536	1.0
4780	0.4217	317.2489	0.1136	189.2103	96.3137	1.0
5901	0.9265	358.5403	0.6380	214.5693	108.1170	1.0
5902	0.8826	351.9752	0.9631	237.8733	78.9045	1.0
5903	0.6592	332.4805	0.3850	204.0831	95.1494	1.0
5904	0.2710	306.9151	0.6359	214.4799	61.7437	1.0
5905	0.0004	237.6117	0.8983	229.5017	-15.6511	0.0
7236	0.0164	268.6971	0.9975	254.4274	-12.6000	0.0
7237	0.0940	289.2111	0.8560	226.0967	34.1934	1.0
7238	0.0987	289.8924	0.2197	196.2737	64.6295	1.0
7239	0.8612	349.4097	0.7353	219.0520	95.4167	1.0
7240	0.4045	316.1402	0.3691	203.4051	81.1211	1.0
7886	0.4899	321.5647	0.1609	192.7400	96.6682	1.0
7887	0.5771	327.0760	0.1282	190.3977	103.9707	1.0
7888	0.9887	379.3573	0.6893	216.8577	124.5638	1.0
7889	0.7340	337.8651	0.9202	231.6809	72.3976	1.0
7890	0.0064	259.8143	0.9808	242.4918	-8.6590	0.0

PIPA DENGAN PANJANG 30.48 METER, 8 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	316.9094	28.1566	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	218
Gagal	9782
Pfail	0.9782

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.7167	336.5630	0.7300	379.1604	-76.2537	0.0
2	0.3404	311.8899	0.2721	344.8296	-64.1287	0.0
3	0.5228	323.6337	0.1605	333.9612	-42.6908	0.0
4	0.3028	309.2613	0.2556	343.4142	-65.0791	0.0
5	0.0413	278.6929	0.5328	364.2261	-113.4025	0.0
6	0.6612	332.6196	0.3295	349.4874	-50.1298	0.0
7	0.6100	329.1989	0.1465	332.2989	-36.0199	0.0
8	0.5474	325.1868	0.9877	425.1603	-132.4921	0.0
9	0.3043	309.3641	0.2617	343.9409	-65.5132	0.0
10	0.9663	368.0194	0.6803	375.1005	-43.8830	0.0
11	0.5987	328.4673	0.2214	340.2990	-44.6785	0.0
12	0.0098	263.7497	0.8221	387.9106	-150.5360	0.0
13	0.7942	342.7763	0.9872	424.7447	-116.2461	0.0
14	0.1347	294.5206	0.6358	371.6889	-106.6203	0.0
15	0.7374	338.1182	0.9770	418.0888	-113.7825	0.0
16	0.0972	289.6866	0.0814	322.6173	-61.8994	0.0
17	0.7949	342.8355	0.2294	341.0471	-32.4951	0.0
18	0.6893	334.5794	0.9226	401.9716	-100.8502	0.0
19	0.6077	329.0468	0.2283	340.9442	-44.8021	0.0
20	0.8834	352.0771	0.6272	371.0456	-54.1762	0.0
21	0.0030	253.3525	0.2489	342.8203	-114.8030	0.0
22	0.3463	312.2940	0.2375	341.7925	-60.7278	0.0
23	0.0331	276.1757	0.8107	386.6968	-138.1387	0.0
24	0.8064	343.8695	0.9338	404.2856	-94.8030	0.0
25	0.9956	387.8518	0.4879	361.0519	-11.9852	0.0
26	0.9586	365.6744	0.6420	372.1536	-43.0466	0.0
27	0.3808	314.6005	0.8264	388.3726	-105.2322	0.0
28	0.2912	308.4189	0.1641	334.3783	-56.8013	0.0
29	0.3898	315.1860	0.5755	367.2690	-83.6015	0.0
30	0.9841	376.0280	0.1432	331.8877	6.5375	1.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
151	0.8427	347.4058	0.0076	293.6194	19.0458	1.0
152	0.5768	327.0535	0.2265	340.7825	-46.4343	0.0
153	0.2797	307.5729	0.1694	334.9748	-58.1592	0.0
154	0.7556	339.5472	0.3159	348.4173	-42.8248	0.0
155	0.0889	288.4335	0.3841	353.6142	-94.0240	0.0
381	0.8098	344.1824	0.0267	307.5176	2.2466	1.0
382	0.5582	325.8699	0.3511	351.1445	-57.8616	0.0
383	0.6226	330.0250	0.9276	402.9733	-105.9508	0.0
384	0.8869	352.5307	0.7583	381.6425	-64.3649	0.0
385	0.3237	310.7413	0.8292	388.6891	-109.0220	0.0
540	0.8802	351.6748	0.3985	354.6661	-38.1588	0.0
541	0.0048	257.3821	0.4459	358.0772	-126.4334	0.0
542	0.9477	362.8782	0.0426	313.4318	13.1587	1.0
543	0.5614	326.0741	0.9124	400.0764	-106.6098	0.0
544	0.6233	330.0705	0.0165	301.8974	-4.8340	0.0
545	0.4197	317.1207	0.8324	389.0424	-103.6338	0.0
2811	0.5076	322.6748	0.0501	315.6186	-25.2113	0.0
2812	0.9767	372.0508	0.0259	307.1604	27.6853	1.0
2813	0.4155	316.8488	0.8283	388.5887	-103.4248	0.0
2814	0.8568	348.9144	0.3741	352.8701	-38.8471	0.0
2815	0.5108	322.8799	0.7270	378.9115	-88.3196	0.0
2816	0.0986	289.8767	0.8827	395.3764	-134.4874	0.0
2817	0.7093	336.0139	0.9234	402.1309	-99.7184	0.0
2818	0.1784	299.1081	0.6326	371.4486	-102.2514	0.0
2819	0.9785	372.9330	0.1421	331.7590	3.8806	1.0
9992	0.0093	263.2407	0.9509	408.4589	-171.5423	0.0
9993	0.6814	334.0200	0.1295	330.1294	-29.5114	0.0
9994	0.8378	346.8936	0.0176	302.6029	9.6013	1.0
9995	0.6099	329.1921	0.8159	387.2486	-90.9757	0.0
9996	0.3068	309.5494	0.9697	414.7434	-136.1490	0.0
9997	0.2628	306.2941	0.3622	351.9852	-76.3205	0.0
9998	0.5058	322.5656	0.1430	331.8659	-41.5569	0.0
9999	0.4782	320.8296	0.3342	349.8475	-61.1009	0.0
10000	0.1921	300.3911	0.1854	336.7086	-66.3566	0.0

PIPA DENGAN PANJANG 30.48 METER, 9 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	394.2789	30.675	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	33
Gagal	9967
Pfail	0.9967

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.8694	350.3604	0.6603	406.9584	-91.6341	0.0
2	0.4106	316.5391	0.5562	398.6152	-113.7300	0.0
3	0.0217	271.5591	0.1230	358.6998	-114.2966	0.0
4	0.3443	312.1580	0.1880	367.1211	-86.1789	0.0
5	0.2242	303.2031	0.9642	449.5557	-176.6730	0.0
6	0.7309	337.6252	0.9482	444.2143	-140.3516	0.0
7	0.5928	328.0799	0.5198	395.8031	-100.5312	0.0
8	0.2866	308.0832	0.0281	335.6984	-58.4235	0.0
9	0.8888	352.7821	0.9029	434.0952	-116.5914	0.0
10	0.9626	366.8616	0.9646	449.6983	-119.5229	0.0
36	0.9652	367.6841	0.0062	317.6413	13.2744	1.0
37	0.4912	321.6491	0.1591	363.6636	-74.1794	0.0
38	0.2119	302.1520	0.7666	416.6009	-144.6641	0.0
39	0.9533	364.2455	0.4556	390.8607	-63.0397	0.0
40	0.2617	306.2061	0.4522	390.5972	-115.0117	0.0
4366	0.3265	310.9338	0.7212	412.2649	-132.4245	0.0
4367	0.7782	341.3985	0.5639	399.2110	-91.9524	0.0
4368	0.9875	378.3425	0.0296	336.4053	4.1029	1.0
4369	0.0207	271.1119	0.4478	390.2509	-146.2502	0.0
4370	0.1104	291.5113	0.0286	335.9378	-73.5776	0.0
6346	0.0097	263.6043	0.2533	373.9032	-136.6593	0.0
6347	0.8935	353.4109	0.6091	402.7723	-84.7025	0.0
6348	0.7357	337.9952	0.1781	365.9820	-61.7862	0.0
6349	0.8338	346.4914	0.0036	311.7001	0.1421	1.0
6350	0.7011	335.4239	0.3953	386.1375	-84.2560	0.0
6481	0.8702	350.4555	0.7220	412.3405	-96.9306	0.0
6482	0.8398	347.0980	0.7401	414.0221	-101.6339	0.0
6483	0.5540	325.6003	0.0004	291.4870	1.5533	1.0
6484	0.3920	315.3305	0.9817	458.3657	-174.5682	0.0
6485	0.6716	333.3380	0.6954	409.9617	-109.9575	0.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
8821	0.7028	335.5401	0.7990	419.9888	-118.0028	0.0
8822	0.1142	292.0213	0.6940	409.8359	-147.0168	0.0
8823	0.7761	341.2266	0.7682	416.7605	-109.6565	0.0
8824	0.7655	340.3469	0.9594	447.7869	-141.4747	0.0
8825	0.6558	332.2472	0.6954	409.9616	-110.9391	0.0
8826	0.9104	355.8677	0.6144	403.2040	-82.9231	0.0
8827	0.8198	345.1157	0.5974	401.8442	-91.2401	0.0
8828	0.2954	308.7246	0.6818	408.7784	-130.9263	0.0
8829	0.0420	278.8877	0.7988	419.9656	-168.9667	0.0
8830	0.9211	357.5908	0.5154	395.4658	-73.6341	0.0
9191	0.5019	322.3168	0.8271	423.1969	-133.1118	0.0
9192	0.9323	359.6120	0.8232	422.7301	-99.0793	0.0
9193	0.6138	329.4507	0.3750	384.5023	-87.9966	0.0
9194	0.2772	307.3884	0.2380	372.4206	-95.7711	0.0
9195	0.1361	294.6864	0.7682	416.7660	-151.5483	0.0
9196	0.8169	344.8439	0.4942	393.8301	-83.4706	0.0
9197	0.7274	337.3601	0.5271	396.3687	-92.7446	0.0
9198	0.3816	314.6516	0.6198	403.6375	-120.4510	0.0
9199	0.8289	346.0022	0.5648	399.2832	-87.8813	0.0
9200	0.4879	321.4387	0.4447	390.0119	-100.7171	0.0
9201	0.0081	261.9574	0.7023	410.5690	-174.8073	0.0
9820	0.1220	293.0021	0.7564	415.5908	-151.8889	0.0
9821	0.4243	317.4145	0.8242	422.8514	-137.1783	0.0
9822	0.2943	308.6433	0.8739	429.4002	-151.6213	0.0
9823	0.2214	302.9667	0.7986	419.9447	-147.2748	0.0
9824	0.4042	316.1262	0.2682	375.3152	-90.8017	0.0
9825	0.9691	369.0108	0.0016	303.5813	28.5283	1.0
9993	0.7087	335.9737	0.5956	401.7030	-99.3267	0.0
9994	0.3568	313.0039	0.6604	406.9678	-125.2643	0.0
9995	0.0597	283.1831	0.4723	392.1516	-137.2868	0.0
9996	0.9952	387.0391	0.9783	456.2537	-107.9185	0.0
9997	0.0244	272.8346	0.7684	416.7842	-171.2331	0.0
9998	0.5457	325.0774	0.3373	381.4001	-88.8305	0.0
9999	0.7249	337.1718	0.1870	367.0051	-63.5505	0.0
10000	0.8550	348.7184	0.2533	373.9079	-60.0614	0.0

PIPA DENGAN PANJANG 40.64 METER, 7 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	275.047	21.399	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	6824
Gagal	3176
Pfail	0.0013

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.9032	354.7768	0.8651	298.6601	20.6391	1.0
2	0.1446	295.6438	0.1020	247.8683	18.2111	1.0
3	0.4707	320.3596	0.4758	273.7496	14.5740	1.0
4	0.6014	328.6427	0.0512	240.0911	55.6872	1.0
5	0.0315	275.5982	0.5608	278.3206	-30.2822	0.0
6	0.8754	351.0820	0.9926	327.1898	-11.2161	0.0
7	0.9036	354.8346	0.8347	295.8633	23.4878	1.0
8	0.2325	303.8869	0.1682	254.4802	19.0180	1.0
9	0.1399	295.1116	0.8371	296.0735	-30.4730	0.0
10	0.4629	319.8674	0.4502	272.3696	15.5111	1.0
51	0.0669	284.6338	0.2952	263.5315	-7.3611	0.0
52	0.4824	321.0943	0.8876	301.0205	-12.0356	0.0
53	0.4499	319.0434	0.6943	285.9181	1.2210	1.0
54	0.0088	262.6687	0.1024	247.9169	-11.5151	0.0
55	0.8807	351.7324	0.4464	272.1610	44.3982	1.0
306	0.4115	316.5935	0.4797	273.9573	10.9768	1.0
307	0.7736	341.0147	0.7902	292.3150	14.5983	1.0
308	0.0625	283.7592	0.9058	303.1918	-47.8085	0.0
309	0.4527	319.2242	0.0871	245.9745	41.3273	1.0
310	0.4825	321.1002	0.0649	242.6363	46.3540	1.0
461	0.1203	292.7912	0.4525	272.4948	-8.9828	0.0
462	0.3591	313.1583	0.4953	274.7941	7.0484	1.0
463	0.1707	298.3602	0.6339	282.3673	-13.8432	0.0
464	0.9686	368.8186	0.8698	299.1307	32.8060	1.0
465	0.3573	313.0357	0.8461	296.8721	-15.1399	0.0
466	0.2122	302.1854	0.5315	276.7388	-4.7719	0.0
467	0.3567	312.9926	0.5644	278.5188	3.1746	1.0
468	0.5310	324.1490	0.4911	274.5702	17.1640	1.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
5601	0.9447	362.1895	0.9489	310.0279	15.9426	1.0
5602	0.2128	302.2313	0.9278	306.2848	-34.2766	0.0
5603	0.2133	302.2798	0.2014	257.1467	14.9051	1.0
5604	0.0521	281.4729	0.7066	286.6783	-33.3526	0.0
5605	0.9007	354.4112	0.3981	269.5178	49.4523	1.0
5606	0.8909	353.0577	0.6944	285.9255	31.8264	1.0
5607	0.3604	313.2437	0.8880	301.0619	-19.1426	0.0
5608	0.2835	307.8566	0.8329	295.7116	-18.6407	0.0
5609	0.7688	340.6147	0.5215	276.2010	30.3523	1.0
5610	0.3289	311.0999	0.3792	268.4661	11.5238	1.0
6311	0.9118	356.0780	0.7710	290.9253	29.5449	1.0
6312	0.5795	327.2267	0.3079	264.3106	30.1934	1.0
6313	0.0217	271.5912	0.3711	268.0081	-23.5760	0.0
6314	0.6041	328.8120	0.6548	283.5704	12.3604	1.0
6315	0.8662	349.9782	0.8190	294.5508	20.4296	1.0
6316	0.7252	337.1951	0.1688	254.5281	48.9475	1.0
6317	0.0811	287.1775	0.5188	276.0563	-17.5966	0.0
6318	0.6231	330.0602	0.3483	266.7056	30.3486	1.0
6319	0.1652	297.8128	0.1548	253.3029	14.7287	1.0
6320	0.2070	301.7307	0.2686	261.8413	9.7163	1.0
6321	0.1430	295.4654	0.0864	245.8805	20.0383	1.0
8776	0.0079	261.7448	0.5358	276.9691	-41.3987	0.0
8777	0.4156	316.8553	0.4092	270.1322	15.0376	1.0
8778	0.7885	342.2785	0.7626	290.3375	17.7132	1.0
8779	0.4440	318.6701	0.8360	295.9772	-9.1742	0.0
8780	0.7288	337.4665	0.3356	265.9611	37.7587	1.0
9992	0.0076	261.3317	0.8192	294.5668	-59.3682	0.0
9993	0.4780	320.8155	0.2826	262.7387	25.9952	1.0
9994	0.0535	281.8036	0.5817	279.4619	-25.8386	0.0
9995	0.9356	360.2718	0.9041	302.9791	21.2656	1.0
9996	0.1415	295.2912	0.6111	281.0879	-15.3258	0.0
9997	0.0153	268.0379	0.9677	314.5963	-73.3622	0.0
9998	0.7586	339.7902	0.1560	253.4119	52.3992	1.0
9999	0.3520	312.6766	0.3747	268.2117	13.1972	1.0
10000	0.7868	342.1320	0.5067	275.4089	32.5099	1.0

PIPA DENGAN PANJANG 40.64 METER, 8 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	482.3351	37.526	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	0
Gagal	10000
Pfail	1

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.6808	333.9764	0.2550	457.6109	-157.0321	0.0
2	0.4343	318.0540	0.7649	509.4355	-223.1868	0.0
3	0.5921	328.0350	0.3208	464.8716	-169.6401	0.0
4	0.0907	288.7107	0.9840	562.7736	-302.9340	0.0
5	0.9996	405.4045	0.4126	474.0456	-109.1816	0.0
6	0.2805	307.6327	0.7889	512.4538	-235.5843	0.0
7	0.4437	318.6514	0.2364	455.4001	-168.6139	0.0
8	0.9533	364.2380	0.8088	515.1079	-187.2937	0.0
9	0.9546	364.5876	0.3503	467.9111	-139.7822	0.0
10	0.9526	364.0695	0.7628	509.1753	-181.5127	0.0
151	0.8645	349.7835	0.5276	484.9346	-170.1295	0.0
152	0.7995	343.2452	0.8758	525.6568	-216.7361	0.0
153	0.7154	336.4615	0.9711	553.5054	-250.6901	0.0
154	0.5920	328.0303	0.4914	481.5240	-186.2968	0.0
155	0.6842	334.2150	0.4703	479.5364	-178.7428	0.0
156	0.0054	258.3793	0.7722	510.3350	-277.7937	0.0
157	0.9030	354.7463	0.4196	474.7197	-155.4480	0.0
158	0.5554	325.6923	0.6451	496.2956	-203.1725	0.0
159	0.2683	306.7127	0.2922	461.8130	-185.7716	0.0
160	0.9030	354.7517	0.9319	538.2609	-218.9844	0.0
2621	0.7184	336.6876	0.6374	495.5259	-192.5071	0.0
2622	0.1047	290.7442	0.2920	461.7833	-200.1135	0.0
2623	0.0797	286.9423	0.9733	554.8381	-296.5901	0.0
2624	0.5100	322.8280	0.6626	498.0801	-207.5349	0.0
2625	0.6481	331.7265	0.6928	501.2413	-202.6874	0.0
2626	0.5338	324.3228	0.7398	506.4591	-214.5686	0.0
2627	0.2011	301.2043	0.6813	500.0227	-228.9388	0.0
2628	0.5518	325.4658	0.5549	487.5126	-194.5934	0.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
5851	0.4615	319.7777	0.3619	469.0764	-181.2765	0.0
5852	0.4339	318.0298	0.5487	486.9256	-200.6988	0.0
5853	0.0443	279.5389	0.7262	504.8979	-253.3128	0.0
5854	0.0895	288.5244	0.6375	495.5313	-235.8593	0.0
5855	0.0319	275.7601	0.6110	492.9158	-244.7317	0.0
5856	0.1188	292.6051	0.6625	498.0649	-234.7202	0.0
5857	0.0288	274.6189	0.2299	454.5930	-207.4360	0.0
5858	0.3473	312.3628	0.5780	489.7196	-208.5931	0.0
5859	0.4007	315.8982	0.5065	482.9470	-198.6386	0.0
5860	0.3351	311.5304	0.2728	459.6556	-179.2783	0.0
7221	0.0250	273.0877	0.2918	461.7693	-215.9904	0.0
7222	0.6791	333.8574	0.9842	562.9668	-262.4952	0.0
7223	0.0904	288.6565	0.4378	476.4561	-216.6652	0.0
7224	0.7770	341.3020	0.4559	478.1740	-171.0022	0.0
7225	0.6060	328.9418	0.1275	439.6220	-143.5744	0.0
7226	0.4512	319.1247	0.7551	508.2488	-221.0366	0.0
7227	0.4240	317.3975	0.3728	470.1634	-184.5056	0.0
7228	0.1410	295.2367	0.0138	399.6850	-133.9720	0.0
7229	0.5075	322.6715	0.3876	471.6202	-181.2158	0.0
7230	0.8305	346.1586	0.4827	480.7092	-169.1664	0.0
9986	0.8443	347.5644	0.4537	477.9687	-165.1608	0.0
9987	0.3406	311.9050	0.4797	480.4294	-199.7149	0.0
9988	0.9722	370.1553	0.5845	490.3482	-157.2084	0.0
9989	0.9896	380.1177	0.7439	506.9292	-164.8233	0.0
9990	0.9548	364.6440	0.7482	507.4298	-179.2502	0.0
9991	0.7519	339.2517	0.1206	438.3563	-133.0298	0.0
9992	0.6188	329.7737	0.9096	532.5516	-235.7553	0.0
9993	0.8936	353.4197	0.1423	442.1853	-124.1076	0.0
9994	0.1845	299.6846	0.4889	481.2911	-211.5750	0.0
9995	0.2588	305.9814	0.5310	485.2563	-209.8730	0.0
9996	0.4921	321.7064	0.5759	489.5224	-199.9866	0.0
9997	0.6497	331.8356	0.2046	451.3605	-152.7085	0.0
9998	0.5305	324.1163	0.9564	546.5176	-254.8129	0.0
9999	0.8304	346.1509	0.7563	508.4002	-196.8644	0.0
10000	0.9338	359.8983	0.6995	501.9550	-178.0465	0.0

PIPA DENGAN PANJANG 40.64 METER, 9 KNOT

ID	Normal Dist.		
	Mean	SD	CoV
SMYS	322.2	25.06	0.0778
Se	526.1242	40.9325	0.0778

Simulasi	10000
Berhasil	0
Gagal	10000
Pfail	1

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
1	0.3992	315.7994	0.9622	598.8495	-314.6300	0.0
2	0.3071	309.5672	0.6962	547.1479	-268.5374	0.0
3	0.3638	313.4724	0.4210	517.9672	-235.8420	0.0
4	0.7104	336.0995	0.4746	523.5161	-221.0265	0.0
5	0.4707	320.3559	0.8353	566.0505	-277.7302	0.0
6	0.2033	301.4015	0.7274	550.8878	-279.6264	0.0
7	0.1459	295.7776	0.6725	544.4194	-278.2196	0.0
8	0.6164	329.6183	0.9757	606.8192	-310.1628	0.0
9	0.5201	323.4611	0.5671	533.0438	-241.9288	0.0
10	0.2681	306.6993	0.6510	542.0084	-265.9790	0.0
621	0.1419	295.3367	0.2949	504.0579	-238.2548	0.0
622	0.6278	330.3676	0.9274	585.7566	-288.4257	0.0
623	0.2304	303.7159	0.4105	516.8627	-243.5185	0.0
624	0.6272	330.3300	0.3059	505.3562	-208.0592	0.0
625	0.6748	333.5589	0.5048	526.6127	-226.4097	0.0
626	0.1479	296.0050	0.0769	467.7370	-201.3324	0.0
627	0.7542	339.4356	0.0627	463.3993	-157.9073	0.0
628	0.7862	342.0834	0.6057	537.0962	-229.2211	0.0
629	0.8039	343.6402	0.3982	515.5584	-206.2822	0.0
630	0.1820	299.4502	0.6280	539.4898	-269.9846	0.0
981	0.6883	334.5037	0.2660	500.5473	-199.4939	0.0
982	0.9281	358.8287	0.2611	499.9233	-176.9774	0.0
985	0.0399	278.3022	0.7957	559.9443	-309.4723	0.0
986	0.7109	336.1351	0.8677	571.7808	-269.2592	0.0
987	0.1949	300.6521	0.9049	579.7553	-309.1684	0.0
988	0.2620	306.2358	0.6738	544.5659	-268.9536	0.0
989	0.8843	352.1868	0.8306	565.2767	-248.3085	0.0
990	0.6599	332.5264	0.1060	475.0282	-175.7544	0.0

n	a1	SMYS	a2	Se	MK	Status
2581	0.5905	327.9344	0.2231	494.9407	-199.7998	0.0
2582	0.1569	296.9563	0.0131	435.1785	-167.9178	0.0
2583	0.6786	333.8253	0.5963	536.1020	-235.6593	0.0
2584	0.2675	306.6509	0.7523	554.0251	-278.0393	0.0
2585	0.2645	306.4267	0.6347	540.2220	-264.4380	0.0
2586	0.0138	267.0073	0.0574	461.5793	-221.2728	0.0
2587	0.1376	294.8513	0.9857	615.7158	-350.3496	0.0
2588	0.5130	323.0156	0.9152	582.3401	-291.6261	0.0
2589	0.0693	285.0930	0.1705	487.1489	-230.5652	0.0
2590	0.8056	343.8009	0.2857	502.9597	-193.5389	0.0
8881	0.1606	297.3355	0.5374	529.9640	-262.3620	0.0
8882	0.7625	340.1054	0.9457	591.7844	-285.6896	0.0
8883	0.4185	317.0439	0.4044	516.2174	-230.8779	0.0
8884	0.1496	296.1803	0.6773	544.9647	-278.4025	0.0
8885	0.3063	309.5082	0.2915	503.6506	-225.0932	0.0
8886	0.1547	296.7263	0.5181	527.9809	-260.9272	0.0
8887	0.7055	335.7376	0.2105	493.1875	-191.0236	0.0
8888	0.8153	344.6972	0.4013	515.8902	-205.6628	0.0
8889	0.7111	336.1450	0.4612	522.1399	-219.6094	0.0
8890	0.2241	303.1923	0.1529	484.2069	-211.3339	0.0
9986	0.8487	348.0357	0.9011	578.8380	-265.6059	0.0
9987	0.5734	326.8346	0.5921	535.6581	-241.5070	0.0
9988	0.7471	338.8757	0.9169	582.7868	-277.7987	0.0
9989	0.7300	337.5562	0.0148	437.0525	-133.2519	0.0
9990	0.4857	321.3014	0.8661	571.4814	-282.3101	0.0
9991	0.2819	307.7322	0.3586	511.2990	-234.3401	0.0
9992	0.1405	295.1809	0.2422	497.5048	-231.8420	0.0
9993	0.9328	359.7138	0.4665	522.6813	-198.9389	0.0
9994	0.5242	323.7226	0.9682	602.0802	-310.7299	0.0
9995	0.0973	289.6952	0.7973	560.1787	-299.4530	0.0
9996	0.2949	308.6893	0.6046	536.9788	-259.1584	0.0
9997	0.3097	309.7499	0.3786	513.4734	-234.6986	0.0
9998	0.2286	303.5662	0.7812	557.9010	-284.6914	0.0
9999	0.6017	328.6620	0.9270	585.6226	-289.8268	0.0
10000	0.9860	377.2982	0.9124	581.6187	-242.0503	0.0

DAFTAR PUSTAKA

- ASME B31.8 Code. 2003. **Gas Transmission and Distribution Piping System**.
USA: New York.
- Artana, K. B. (2009, Februari 6). Penilaian Risiko Pipa Gas Bawah Laut Ujung Pangkah-Gresik Dengan Standard DNV RP F107. *Jurnal Teknik Mesin*, 2842.
- Beer Ferdinand P. et al. 2006. **Mechanics of Materials**. Fourth Edition. McGraw Hill.
- DNV OS - F101. 2007. **Integrity Management Of Submarine Pipeline Systems**. Det Norske Veritas.
- DNV RP - F107. 2008. **Integrity Management Of Submarine Pipeline Systems**. Det Norske Veritas.
- DNV RP - F116. 2009. **Integrity Management Of Submarine Pipeline Systems**. Det Norske Veritas.
- Mouselli, A. (1981). Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods.
Oklahoma: PennWell Books.
- Mulyadi, Yeyes. 2014. **Estimation Method for Dragged Anchor Accident Frequency on Subsea Pipelines in Busy Port Areas**. 日本船舶海洋工学会論文集 20 (0), 173-183.
- Negara, Adhipati. 2009. **Analisa Ketebalan Pipa Bawah Laut dan Resiko Akibat Kejatuhan Jangkar Kapal : Studi Kasus Pipa Ujung Pangkah**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Popang, Oridian. 2011. **Penilaian Resiko Unburried Subsea Pipeline Terhadap Trawl Gear Dengan Kondisi Hooking**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Prasetyo, Muhammad Rizal. 2013. **Analisa Kekuatan Pipa Bawah Laut Terhadap Kemungkinan Kecelakaan Akibat Tarikan Jangkar Kapal**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Rosyid, D.M. 2007. **Pengantar Rekayasa Keandalan**. Airlangga Press

University : Surabaya.

Soegiono. 2007. **Pipa Laut**. Surabaya : Airlangga Press University.

BIODATA PENULIS



Ika Puspita Nuraini dilahirkan di Surabaya, 5 Februari 1993. Pendidikan SD, SMP dan SMA ditempuh di Mojosari, Mojokerto dan lulus dari SMA Negeri 1 Mojosari pada tahun 2011. Setelah itu penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru melalui jalur SNMPTN Undangan dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah penulis sempat aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan kampus.

Penulis juga aktif di berbagai kegiatan sebagai panitia maupun peserta. Berbagai pelatihan dan seminar pernah diikutinya dalam rangka untuk pengembangan dirinya. Penulis merupakan lulusan dari Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Menengah (LKMM TM) FTK. Penulis pernah menjabat sebagai sekretaris Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) 2012-2013 dan menjabat sebagai Bendahara Umum Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) 2013-2014. Penulis memiliki minat di bidang manajemen dan juga pipa bawah laut, sehingga tugas akhir yang diambil berhubungan dengan manajemen resiko pipa bawah laut.